FÍSICA PROGRAMADA

VOLUMEN II
ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

JOSEPH
Y LEAHY

LIMUSA
WILEY

AUTORES

Dr. ALEXANDER JOSEPH

Profesor de Física.
Jefe de la División de Ciencias y Matemáticas.
John Jay College of the University of the City of New York.

DANIEL J. LEAHY

Licenciado en Matemáticas.
Escuela de Estudios Generales.
Hunter College of the University of the City of New York.

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN II: ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

FISICA PROGRAMADA

VOLUMEN II: ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Dr. Alexander Joseph

Profesor de Física
Jefe de la División de
Ciencias y Matemáticas
John Jay College of the
University of the City of New York.

Daniel J. Leahy

Licenciado en Matemáticas
Escuela de Estudios Generales
Hunter College of the University
of the City of New York.

EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S. A.
MEXICO 1970

PROLOGO AL MAESTRO

Este libro es el segundo de una serie de cinco, que, en conjunto, constituyen el texto para un curso anual de física programada. El volumen I trata de Mecánica, el III de Optica y Ondas, el IV de Teoría Cinética y Termodinámica, y el V sobre Tópicos de Física Moderna.

Estos libros programados están destinados principalmente para el último año de preparatoria o el primero de nivel profesional. Consideramos que, estos libros de nivel profesional son especialmente apropiados para estudiantes que se especializan en ciencias sociales, y también para los planes de estudio de los primeros años de facultad.

Para el estudio de este volumen de *Electricidad y Magnetismo,* el alumno debe tener conocimientos generales de los principios y conceptos de mecánica elemental, especialmente, trabajo, energía y la segunda ley de Newton del movimiento; debe tener conocimientos prácticos de álgebra intermedia, habilidad en el manejo de símbolos y expresiones matemáticas, y también le será útil comprender la trigonometría elemental. A continuación de las "Instrucciones para el estudiante", se proporciona una prueba de estos requisitos.

Aunque el propósito de esta serie programada es usarla sin el auxilio de un libro de texto y con la mínima supervisión del maestro, recomendamos complementarla adecuadamente con demostraciones y discusiones en clase y prácticas de laboratorio, siempre que sea posible. Hemos comprobado que los experimentos de laboratorio del PSSC (Physical Science Study Committee) son auxiliares muy útiles al texto, y que las demostraciones en clase sobre inducción electromagnética y los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas, también son valiosos complementos en el estudio de los capítulos 4 y 5.

ALEXANDER JOSEPH
DANIEL J. LEAHY

Nueva York, 1965

CONTENIDO

INSTRUCCIONES PARA EL ESTUDIANTE 9
PRUEBA DE CONOCIMIENTOS 10

CAPÍTULO UNO

Electrostática 13

1. Definición de carga 13
2. Conductores y aisladores 19
3. La teoría electrónica; la conservación de la carga; la carga por inducción 26
4. La ley de Coulomb para cargas "puntuales" 33
5. Repaso y problemas 43

CAPÍTULO DOS

Campo eléctrico y potencial eléctrico 53

1. Campos eléctricos 54
2. Campos eléctricos (continuación) 60
3. Energía potencial eléctrica 68
4. Potencial eléctrico 78
5. Diferencia de potencial eléctrico 88
6. Diferencia de potencial eléctrico (continuación) 95
7. La fuerza electromotriz (fem) 105
8. Repaso y problemas 110

CAPÍTULO TRES

Electricidad en movimiento 119

1. Movimiento de cargas en campos eléctricos 119
2. Definición cuantitativa de la corriente eléctrica 125
3. Resistencia eléctrica 129
4. La ley de Ohm 139
5. Cambios de energía en un circuito eléctrico 143
6. Resistencias en serie 150
7. Resistencias en paralelo 160
8. Repaso y problemas 171

CAPÍTULO CUATRO

El campo magnético 179

1. Imanes, polos magnéticos, campos magnéticos y líneas de campo magnético 180
2. Campos magnéticos alrededor de conductores con corriente; espiras y alambres rectos largos; reglas de la mano derecha 185
3. Fuerza magnética sobre un alambre con corriente 192
4. Fuerzas magnéticas (continuación); fuerza magnética sobre la longitud l de un alambre; campo magnético cerca de un alambre recto y largo; fuerza magnética entre dos alambres largos paralelos; campo en el centro de una espira 197
5. Fuerza magnética sobre una partícula cargada 207
6. El cañón electrónico; el experimento de Thomson 216
7. El espectrómetro de masas 222
8. El ciclotrón 227
9. El efecto Hall 236
10. El amperímetro de bobina móvil; el motor eléctrico 239
11. Una teoría del magnetismo 243
12. Repaso y problemas 254

CAPÍTULO CINCO

Inducción electromagnética 263

1. Corrientes inducidas y fem inducida 264
2. Tratamiento cuantitativo de la fem inducida; la ley de Lenz 272
3. Flujo magnético; la fem inducida en función del cambio de flujo magnético 279
4. El generador 289
5. El transformador; la bobina de inducción; el betatrón 297
6. Circuitos de c-a con bobinas y condensadores 309
7. Ondas electromagnéticas 319
8. Circuitos oscilantes 323
9. Repaso y problemas 328

INSTRUCCIONES PARA EL ESTUDIANTE

Este libro es un texto *programado*. Esto significa que: (1) las materias que trata un curso de introducción a la física han sido analizadas en una serie de pasos cortos y sencillos; y (2) estos pasos están presentados en la forma y secuencia que se ha encontrado ser la más conveniente para un aprendizaje eficaz.

Cada paso se presenta en un espacio llamado *marco*.* Cada marco presenta cierta cantidad de información; en seguida plantea una pregunta o un problema para que el estudiante los conteste o resuelva, como comprobación de su comprensión antes de continuar. Escribirá sus respuestas a estas preguntas, ya sea en el espacio asignado para ello en el marco, o en una hoja de respuestas por separado, según le indique su maestro.

Cuando haya escrito su(s) respuesta(s), podrá verificar su validez comparándola(s) con la(s) correcta(s), que está(n) debajo de los asteriscos que indican el final de cada marco. Por ejemplo:

1. El metro es una unidad de longitud que tiene *39.37 pulgadas*. Una longitud de dos metros tiene ..... pulgadas.

* * * * *

78.74

2. El metro se emplea para medir (peso/longitud/tiempo) y equivale a ..... pulgadas.

* * * * *

longitud; 39.37

Los *paneles* a que se hace referencia están al final del libro y se pueden desdoblar para fácil referencia cuando el estudiante esté trabajando en ellos.

Se suministra un protector para que usted pueda ocultar la respuesta del marco en el que esté trabajando y todos los marcos subsiguientes de una página, hasta que haya escrito su respuesta y esté listo para verificarla, moviendo el protector hacia abajo para descubrir la respuesta correcta, que está debajo de los asteriscos.

* También se le llama cuadro.

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

PARA *ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO:*

En el espacio asignado a la derecha, anote el número que corresponda a la respuesta correcta. Si ninguna de las respuestas es correcta, escriba "0" en el espacio.

1. Si $\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$, y $x = 4$ e $y = 8$, $z =$

(1) ⅛ (2) ¼ (3) ⅔ (4) 1/16 (5) 8 1. .....

2. Una masa de 10 kg se mueve en una trayectoria circular de 2 m de radio, a una rapidez constante de 5 m/seg. La fuerza centrípeta aplicada a ella es de:

(1) 125 (2) 4 (3) 1/50 (4) 10 (5) 100 newtons 2. .....

3. La energía cinética de la masa de 10 kg del problema 2 es:

(1) 125 (2) 150 (3) 4 (4) 1/50 (5) 100 julios 3. .....

4. Una masa de 3 kg se hace descender con rapidez constante, desde una altura de 10 m. Si el campo de aceleración gravitacional es de 9.8 m/seg², el trabajo realizado por la fuerza que se aplica a la masa es de:

(1) 294 (2) −30 (3) −294 (4) 30 (5) −98 julios 4. .....

5. La fuerza gravitacional entre las masas m_1 y m_2 separadas por la distancia d está dada por la expresión:

(1) $\frac{Gm_1m_2}{d}$ (2) $\frac{Gm_1m_2}{d^2}$ (3) $Gm_1 + m_2$

(4) $\frac{Gm_1m_2}{\sqrt{d}}$ (5) $\frac{m_1m_2}{Gd}$ 5. .....

6. La energía potencial gravitacional de una masa m en el campo gravitacional de la Tierra (masa M), cuando está a una distancia r del centro de la Tierra, es de:

(1) $\frac{GmM}{r^2}$ (2) $GMmr$ (3) $-\frac{GMm}{r}$

(4) $\frac{GMm}{r^3}$ (5) $\frac{-GMm}{r^2}$ 6. .....

7. Una fuerza total constante de 10 newtons produce un desplazamiento paralelo de 16 metros cuando se aplica a una masa de 25 kg. El cambio en la energía cinética de la masa es de:

(1) 250 (2) 375 (3) 150 (4) 2.5 (5) 100 julios 7. .....

8. Si $F = Eq$ y $F = Bvq$, una expresión para v, en función de E y B será:

(1) EB (2) $\frac{B}{E}$ (3) $\frac{qB}{E}$ (4) $\frac{Eq}{B}$ (5) $E + B$ 8. .....

9. Dadas: $F = \frac{mv^2}{R}$ y $F = Bvq$, R es igual a:

(1) $\frac{mv^2}{Bq}$ (2) $\frac{v^2B}{qm}$ (3) $\frac{m}{Bvq}$ (4) $\frac{mv^2}{B}$ (5) $\frac{mv}{Bq}$ 9. .....

10. Si $F = m\left(\frac{4\pi^2R}{T^2}\right)$ y $F = Bvq$, T es igual a:

(1) $\frac{4\pi^2R}{Bqm}$ (2) $\frac{2\pi R}{Bvq}$ (3) $2\pi\sqrt{\frac{Rm}{Bvq}}$

(4) $\frac{\sqrt{Bvqm}}{2\pi R}$ (5) $\frac{Bvq}{4\pi mR}$ 10. .....

11. Los catetos de un triángulo rectángulo miden 7 m y 24 m. La hipotenusa mide:

(1) 15 (2) 31 (3) 25 (4) 30 (5) 27 m 11. .....

12. $\vec{A}$ y $\vec{B}$ son cantidades vectoriales. $\vec{A} = 10$ unidades al Este; $\vec{B} = 15$ unidades al Oeste. Su suma es:

(1) 15 unidades al Oeste (2) 25 unidades al Norte (3) 20 unidades al Noroeste (4) 5 unidades al Este (5) 5 unidades al Oeste. 12. .....

13. Calcule N, si $N = \dfrac{(3 \times 10^{-4})(4 \times 10^{-12})}{24 \times 10^{-6}}$

(1) 5×10^{11} (2) 5×10^{-7} (3) 5×10^{-11}
(4) 5×10^{7} (5) 5×10^{-22} 13. .....

14. Reduzca la expresión $\dfrac{1 - x/y}{1 + x/y}$ a su forma más simple:

(1) 1 (2) -1 (3) $\dfrac{y - x}{y + x}$ (4) xy (5) $\dfrac{x}{y}$ 14. .....

15. Dada la expresión $x^2 - 5x + 6 = 0$, x es igual a:

(1) 5 ó 1 (2) 2 ó 3 (3) 6 ó 1 (4) -2 ó -3
(5) -5 ó -1 15 .....

CAPITULO 1

ELECTROSTATICA

OBJETIVOS:

Al terminar el estudio de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Dar definiciones operacionales de carga positiva y carga negativa.
2. Distinguir entre conductores y aisladores.
3. Enunciar el principio de conservación de la carga.
4. Describir la teoría electrónica y aplicarla para explicar el proceso de cargar por inducción.
5. Enunciar y aplicar la Ley de Coulomb para cargas puntuales.

Sección 1. Definición de carga
Las cargas del mismo signo se repelen
Las cargas de signo contrario se atraen

1. Véase el Panel 1. La letra en la esquina superior derecha es una .....

* * * * *

B (*Si su respuesta no es correcta, se equivocó de panel.*)

2. El Panel 1 describe un experimento típico para investigar la *electricidad estática.* Todo lo que se describe en él se puede realizar en el laboratorio. Lea los pasos 1 y 3 cuidadosamente. Se observa que (hay/no hay) fuerzas actuando sobre la barra de vidrio y la tela de seda, *antes* de haberlas frotado una con otra.

* * * * *

no hay

3. Panel 1. Después de que la barra de vidrio ha sido frotada con la tela de seda, se observa que (hay/no hay) fuerzas actuando entre ellas.

* * * * *

hay

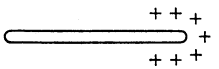
4. La situación en el paso 4 la describimos diciendo que el frotamiento de la barra de vidrio con una tela de seda produce una *carga eléctrica* (o, simplemente, una carga) en el vidrio, en la parte donde éste ha sido frotado.

Lea los pasos restantes de este experimento. En el paso 5 observamos que (existe/no existe) una fuerza entre la barra de vidrio cargada y la barra descargada.

* * * * *

existe

5. En las ilustraciones y figuras indicaremos con el signo (+) la parte de la barra de vidrio que ha sido frotada con la tela de seda. Por ejemplo, en esta figura:



el (extremo derecho/extremo izquierdo/centro) de la barra tiene una ..... eléctrica.

* * * * *

extremo derecho; carga

6. Panel 1. La fuerza observada en este experimento entre la barra de vidrio que tiene una carga eléctrica y la que no la tiene, es una fuerza de (atracción/repulsión).

* * * * *

atracción

7. Panel 1, paso 6. Cuando una barra de hule descargada se acerca a la barra de vidrio cargada, observamos que hay una fuerza de (atracción/repulsión) entre ellas.

* * * * *

atracción

8. Panel 1. En el paso 7 de este experimento (ambas barras están cargadas/sólo una de las barras está cargada). En este caso, la fuerza entre las dos barras es una fuerza de (atracción/repulsión).

* * * * *

ambas barras están cargadas; repulsión

9. Vea el Panel 2. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

K

10. El Panel 2 describe otro experimento para investigar la electricidad estática. Lea cuidadosamente los pasos 1 a 5. Observe que la porción de la barra de hule a la cual se le ha dado una carga eléctrica está marcada con signos (+/−).

* * * * *

—

11. Panel 2. En los pasos 1 a 5 de este experimento observamos que la barra de hule que ha sido cargada frotándola con .... actúa en forma (similar a/diferente de) la barra de vidrio frotada con ..... en el experimento descrito en el Panel 1.

* * * * *

piel de animal (lana); similar a; seda

12. Panel 2. Dos barras de hule, una cargada y la otra descargada, (se repelen/se atraen).

* * * * *

se atraen

13. Dos barras de hule, a las cuales se les ha dado una carga frotándolas con una piel de animal, (se atraen/se repelen).

* * * * *

se repelen

14. Dos barras de vidrio que han sido cargadas frotándolas con seda (se atren/se repelen).

* * * * *

se repelen

15. Panel 2. En el paso 6 de este experimento (ambas barras están cargadas/una barra está cargada). La fuerza entre las barras es de (atracción/repulsión).

* * * * *

ambas barras están cargadas; atracción

16. Hemos visto que dos barras de hule cargadas (se atraen/se repelen); que dos barras de vidrio cargadas (se atraen/se repelen). Una barra de hule cargada por frotamiento con una piel de animal y una barra de vidrio cargada por frotamiento con seda (se atraen/se repelen).

* * * * *

se repelen; se repelen; se atraen

17. Una barra de hule cargada, o una barra de vidrio cargada (atrae a/repele a/no tiene ningún efecto observable sobre) una barra de vidrio (o de hule) descargada.

* * * * *

atrae a

18. Panel 2. El resultado observado en el paso 5 de este experimento, indica una diferencia básica entre la carga producida en la barra de vidrio del Panel 1 y la carga producida en la barra de hule del Panel 2. La barra de *vidrio* cargada (atrae/repele) a otra barra de *vidrio* cargada. La barra de *hule* cargada (atrae/repele) a otra barra de *hule* cargada. Una barra de *hule* cargada y una barra de *vidrio* cargada se (atraen/repelen) entre sí.

* * * * *

repele; repele; atraen

19. Definimos como *positiva* (+) la carga de una barra de vidrio cuando la frotamos con seda. En el paso 7 del Panel 1, (*a*) ambas barras están cargadas positivamente/(*b*) sólo la barra suspendida está cargada positivamente. Conteste (*a*) o (*b*).

En el paso 6 del Panel 1 [(*a*) ambas barras están cargadas positivamente/(*b*) sólo la barra suspendida está cargada positivamente]. Conteste (*a*) o (*b*).

* * * * *

(*a*); (*b*)

20. El paso 7 del Panel 1 y nuestra definición de carga positiva nos proporcionan un método para probar si hay carga positiva. Supóngase que una barra de vidrio es frotada con seda y al acercar un objeto cualquiera a la parte frotada de la barra de vidrio es atraído por ella. Este objeto (está/no está) cargado positivamente. Explique su respuesta.

* * * * *

no está (porque las cargas del mismo signo se repelen entre sí. En este caso, si el objeto estuviera cargado positivamente, sería repelido por la barra de vidrio, *no* atraído.)

21. Por definición, la carga eléctrica que se produce en una barra de vidrio al frotarla con seda es ..... En un experimento encontramos que al acercar cierto objeto a una barra de vidrio cargada en esta forma, es repelido por ella. Por lo tanto, sabemos que este objeto (está/no está) cargado.

* * * * *

positiva; está

22. El experimento nos demuestra que dos objetos cargados positivamente (se atraen/se repelen).

* * * * *

se repelen

23. Definimos como *negativa* (—) la carga que se produce en una barra de hule al frotarla con una piel de animal. En el paso 6 del Panel 2 la barra de vidrio tiene carga ..... y la barra de hule tiene carga ...

.....

* * * * *

positiva; negativa

24. Se frota una barra de hule con una piel de animal. Al acercar un objeto a la barra, es repelido por ésta; este objeto tiene una carga (positiva/negativa).

* * * * *

negativa

25. Lea de nuevo los Paneles 1 y 2, a la luz de las definiciones que hemos dado para carga positiva y negativa.

Dos objetos cargados negativamente (se atraen/se repelen).

Dos objetos cargados positivamente (se atraen/se repelen).

Un objeto cargado negativamente (atrae/repele) a un objeto descargado.

Un objeto cargado positivamente (atrae/repele) a un objeto descargado.

* * * * *

se repelen; se repelen; atrae; atrae

26. Un objeto cargado negativamente (atrae/repele) a otro cargado positivamente.

* * * * *

atrae

27. Resumiremos los resultados de las observaciones hechas en los Paneles 1 y 2 como sigue:

(1) Cargas del mismo signo, es decir, ambas positivas o ambas negativas, (se atraen/se repelen).

(2) Cargas de diferente signo, es decir, una positiva y una negativa, (se atraen/se repelen).

(3) Objetos cargados (atraen/repelen/no afectan) a objetos neutrales, es decir, descargados.

* * * * *

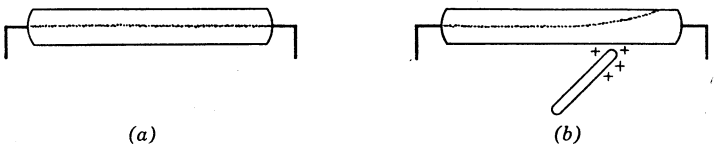
se repelen; se atraen; atraen

28. Una barra de vidrio frotada con seda atrae partículas de polvo del aire ¿Significa esto que las partículas de polvo necesariamente están cargadas negativamente? (Si/no). Explique sus respuestas. *Si tiene dudas acerca de la respuesta correcta, vea los pasos 5 y 6 del Panel 1 y el paso 3 del Panel 2.*)

* * * * *

no (porque la barra cargada atrae a objetos que no tienen carga, así como a aquellos que tienen una carga de signo distinto.)

29. En la figura (*a*) se ha hecho pasar un haz de partículas a través de un tubo al vacío. Cuando una barra cargada positivamente es acercada al tubo, el haz se desvía alejándose de la barra. Las partículas del haz están (cargadas negativamente/cargadas positivamente/sin carga). Explique.



(*a*) (*b*)

* * * * *

cargadas positivamente (porque solamente las partículas cargadas positivamente son *repelidas* por una carga positiva.)

30. Un rayo catódico es un haz de partículas pequeñísimas que se mueven a altas velocidades a través de un tubo al vacío. Cuando una barra de hule que ha sido frotada con una piel de animal es acercada al rayo catódico, el rayo se desvía, alejándose de la barra. Esta observación nos da una razón para creer que las partículas de un rayo catódico están (sin carga/cargadas negativamente/cargadas positivamente).

* * * * *

cargadas negativamente

31. Se frota con una tela una bola pequeña y ligera de un material desconocido, y se acerca a una barra de vidrio que ha sido frotada con seda. Si la bola es repelida, sabemos que está cargada .....

* * * * *

positivamente

32. Una bola pequeña y ligera de material desconocido es frotada con otro material y en seguida se acerca a una barra de hule que ha sido frotada con lana. ¿Qué espera usted que suceda, (*a*) si la bola tiene una carga positiva, y (*b*) si la bola tiene una carga negativa?

* * * * *

(*a*) Será atraída por la barra.
(*b*) Será repelida por la barra.

33. Una bola pequeña y ligera es suspendida de un soporte mediante un hilo. Cuando se acercan a ella dos objetos, uno cargado positivamente y otro cargado negativamente (pero sin permitir que la toquen), a la vez es atraída por ambos. ¿Qué conclusión deduce usted de este experimento, acerca de la carga de la bola?

* * * * *

Que *no* tiene carga. Si la bola estuviera cargada habría sido repelida por uno u otro de los objetos (el que tuviera su misma carga).

34. ¿Cuáles de los siguientes enunciados son correctos?
(1) Todas las barras de vidrio están cargadas negativamente.
(2) Todas las barras de hule están cargadas negativamente.
(3) Todas las barras de vidrio están cargadas positivamente.
(4) Una barra de vidrio frotada con seda se carga negativamente.
(5) Una barra de hule frotada con lana tiene carga (+).
(6) Dos objetos cargados positivamente se repelen.
(7) Ds objetos cargados negativamente se atraen.
(8) Un objeto cargado negativamente repele objetos sin carga.
(9) Un objeto cargado positivamente atrae objetos descargados.
(10) Una barra de vidrio frotada con seda repele a un objeto cargado positivamente.

* * * * *

(6); (9); (10)

Sección 2. Conductores y aisladores
El electroscopio
Tierra
Carga por contacto

1. Vea el Panel 3. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

P

2. Panel 3. Estudie cuidadosamente el experimento descrito aquí. En el paso 2, la barra de vidrio suspendida será (atraída/repelida).

* * * * *

repelida

3. Panel 3. En el paso 3 de este experimento es obvio que el extremo *no frotado* de la barra suspendida *no tiene* carga (positiva/negativa). Explique su respuesta.

* * * * *

positiva (Porque si tuviera una carga positiva, sería repelido por la barra cargada positivamente acercada a él.)

4. Panel 3. El paso 4 de este experimento prueba que la carga en el extremo no frotado de la barra suspendida no puede ser (positiva/negativa/neutral). Explique.

* * * * *

negativa (Porque si fuera negativa, sería repelida por la barra cargada negativamente.)

5. Panel 3. En efecto, entonces, este experimento nos muestra que la carga dada a una barra de vidrio cuando es frotada con seda, (permanece en el lugar donde fue frotada/se extiende a todo lo largo de la barra).

* * * * *

permanece en el lugar donde fue frotada

6. Experimentos hechos con hule endurecido, plásticos, diferentes clases de maderas y muchos otros materiales dan el mismo resultado que el observado en el Panel 3 con la barra de vidrio. Tales substancias se llaman *aisladores*. Una carga puesta en un extremo de cualquier barra de *metal* suspendida de un soporte mediante un cuerda, se extiende a toda la superficie del metal. Los metales (son/no son) aisladores.

* * * * *

no son

7. Ciertas substancias (por ejemplo, todos los metales y la Tierra) permiten que las cargas puestas en cualquier parte de su superficie se extiendan a toda ella. A estas substancias las llamamos *conductores*. El hule y el vidrio (permiten/no permiten) que las cargas se extiendan sobre ellos; a estos materiales los llamamos (conductores/aisladores). Los objetos de plata y los de cobre (permiten/no permiten) que las cargas se

extiendan sobre ellos. A los materiales como el cobre y la plata los llamamos (conductores/aisladores).

* * * * *

no permiten; aisladores; permiten; conductores

8. Una barra de metal sostenida en la mano y frotada con una piel, no muestra ninguna carga. Es posible cargar tal barra si la dotamos de un mango de vidrio o de hule para que el metal no sea tocado por la mano al frotarlo. Esto nos demuestra que el cuerpo humano (la carga entra al cuerpo a través de la mano) es un (conductor/aislador) y que el vidrio y el hule son buenos (conductores/aisladores).

* * * * *

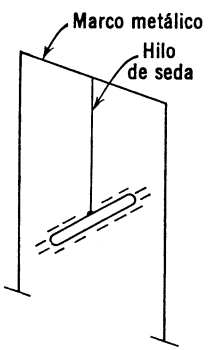
conductor; aisladores

9. Los fabricantes suministran mangos de plástico en los desatornilladores que se emplean en trabajos de electricidad, porque el plástico es un buen ..... Es peligroso hacer trabajos de electricista con un desatornillador con mango de metal, porque los metales, el cuerpo humano y la Tierra son ..... Esto significa que las ..... eléctricas pasan fácilmente a través de ellos o sobre sus superficies.

* * * * *

aislador; conductores; cargas

10. Se sostiene con guantes de hule una barra de cobre mientras se frota con una piel. En seguida se suspende de una armazón metálica, mediante un hilo de seda. Las pruebas muestran que su carga se extien-



de uniformemente sobre la superficie de la barra, pero la carga *no pasa* a la armazón. ¿Qué indica esto acerca del hilo de seda?

* * * * *

Que es un aislador. Si no lo fuera, la carga de la barra de cobre se habría extendido a la armazón metálica, a través de la cuerda.

11. Las cargas eléctricas (están/no están) en libertad de moverse sobre las superficies de los aisladores. Las cargas eléctricas (están/no están) en libertad de moverse sobre las superficies de los conductores.

* * * * *

no están; están

12. Vea el Panel 4. La letra en la esquina superior derecha es una....

* * * * *

E

13. Panel 4. Lea este panel cuidadosamente. Las pruebas hechas con la barra cargada positivamente en el paso 2, y la barra cargada negativamente en el paso 3 muestran que la bola tiene una carga (positiva/negativa/nula).

* * * * *

nula

14. Panel 4. Los pasos 4 y 6 de este experimento muestran que (se puede/no se puede) cargar por *contacto* positiva o negativamente un objeto descargado.

* * * * *

se puede

15. Panel 4. Cuando la bola es tocada con la mano (en el paso 5), las pruebas muestran que (sigue manteniendo/ha perdido) su carga. Explique por qué.

* * * * *

ha perdido su carga (porque el cuerpo ha conducido la carga hasta la Tierra).

16. Panel 4. En el paso 7, las bolas suspendidas se separan porque tienen cargas de (igual/diferente) signo después de haber estado en .... con una de las barras cargadas.

* * * * *

igual; contacto

17. Un objeto cargado por contacto con una barra cargada negativamente tiene una carga (positiva/negativa). Un objeto cargado por

contacto con una barra cargada positivamente tiene una carga (positiva/negativa).
* * * * *

negativa; positiva

18. Vea el Panel 5 La letra que está en la esquina superior derecha es una ....
* * * * *

G

19. Panel 5. Lea cuidadosamente este panel. El dispositivo que describe es un ..... y se usa para detectar ..... Como se muestra en el diagrama simplificado (Fig. 2), todas las partes esenciales de este dispositivo son (conductores/aisladores).
* * * * *

electroscopio; carga eléctrica; conductores

20. Panel 5. En la Fig. 3 una barra cargada negativamente toca la perilla del electroscopio y le transmite una carga (positiva/negativa) por ..... La carga (permanece en la perilla/se extiende a todas las partes) del electroscopio. Las láminas se (atraen/repelen) porque el signo de la carga es (igual/distinto).
* * * * *

negativa; contacto; se extiende a todas las partes; repelen, igual

21. Panel 5. En la Fig. 4 ha sido retirada la barra negativa. La separación de las láminas indica que (ha dejado/no ha dejado) cargado el electroscopio.
* * * * *

ha dejado

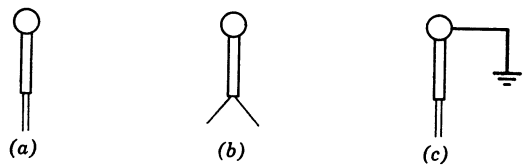
22. Panel 5. En la Fig. 5, la perilla del electroscopio cargado es tocada por un dedo. Las láminas se acercan (cuelgan libremente) indicando que el electroscopio está (cargado/descargado):
* * * * *

descargado

23. Al tocar la perilla de un electroscopio con la mano o un dedo, el electroscopio se descarga *a tierra.* Esto significa que su carga se va a ..... a través del dedo y el cuerpo humano.
* * * * *

la Tierra.

24. El símbolo para *cualquier clase* de dispositivo que conecta a tierra es ⏚.



¿Cuál de estos electroscopios está conectado a tierra, *(a)*, *(b)* o *(c)*?

* * * * *

(c)

25. Panel 5. En la Fig. 6, el electroscopio descargado a tierra de la Fig. 5 ha sido tocado por una barra cargada positivamente, y en seguida ha sido retirada la barra. La carga en el electroscopio es (positiva/negativa).

* * * * *

positiva

26. Panel 5. El símbolo ⏚ en la Fig. 7 indica que el electroscopio ha sido ..... y las láminas juntas indican que su carga se ha fugado a la .....

* * * * *

puesto a tierra (o descargado); Tierra

27. Las láminas de un electroscopio se separan cuando el electroscopio está (cargado/descargado). Se juntan cuando el electroscopio está (cargado/descargado).

* * * * *

cargado; descargado

28. Para probar si una barra está cargada o no, tocamos con ella a un electroscopio *descargado*. Vemos que las láminas del electroscopio se separan; esto nos dice que la barra estaba cargada. ¿También esto nos dice si la carga es positiva o negativa? (si/no).

* * * * *

no

29. El Panel 6 describe una serie de pruebas con un electroscopio cargado, que nos muestran cómo puede usárselo para descubrir si una

carga es positiva o negativa. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

R

30. Lea detenidamente el Panel 6. Cuando una carga negativa es acercada a un electroscopio cargado positivamente (pero sin tocarlo), las láminas del electroscopio se (separan/juntan) aunque el electroscopio (haya sido/no haya sido) descargado a tierra o por contacto.

* * * * *

juntan; no haya sido

31. Panel 6. Cuando se acerca un objeto cargado positivamente a la perilla de un electroscopio cargado negativamente, las láminas se (separan/juntan). El electroscopio (pierde/retiene) su carga negativa, puesto que no hay forma de que la carga se fugue del electroscopio.

* * * * *

juntan; retiene

32. Panel 6. Sabemos que el electroscopio cargado retiene su carga durante estas pruebas porque cuando la barra por probar es retirada, las láminas del electroscopio (se separan/se juntan) de nuevo.

* * * * *

se separan

33. En un experimento, una bola cargada eléctricamente es acercada a la perilla de un electroscopio cargado negativamente; las láminas del electroscopio se juntan. Esto significa que la perilla tiene una carga (positiva/negativa).

* * * * *

positiva

34. En un experimento, una barra de vidrio frotada con seda *toca* la perilla de un electroscopio. Una bola que se sabe que tiene una carga eléctrica es acercada después a la perilla del electroscopio; las láminas se juntan. Esto significa que la bola está cargada (positivamente/negativamente). Explique lo sucedido.

* * * * *

negativamente (después de entrar en contacto con la barra de vidrio, las láminas del electroscopio están cargadas positivamente. La carga desconocida debe repeler cargas negativas y enviarlas hacia las láminas para hacer que se junten, o sea, que cuelguen libremente).

Sección 3. La Teoría electrónica
La conservación de la carga
La carga por inducción

Nota: Los científicos formulan teorías para explicar los hechos observados. Esto con frecuencia implica la suposición de que existen partículas u otras entidades que no se pueden observar directamente. Un ejemplo es la molécula, supuesta en la teoría cinética de los gases para explicar el comportamiento observado en éstos. En las secciones 1 y 2 hemos considerado algunos de los hechos observables de la electricidad estática. En la sección 3 formularemos una teoría para explicar estos hechos: la teoría electrónica de la carga, y la usaremos para explicar algunas nuevas e importantes observaciones acerca de la electricidad estática. Note el proceso mediante el cual se desarrolla el conocimiento científico: una interrelación continuada de observaciones, teorías para explicar las observaciones, experimentos sugeridos por la teoría para proporcionar nuevas observaciones que comprueben la teoría.

1. Explicamos los resultados de los experimentos descritos en los Paneles 1 a 6 por la teoría *electrónica.* Una de las suposiciones de esta teoría es que cualquier objeto que *no tenga* carga eléctrica neta contiene igual número de partículas cargadas positivamente y partículas cargadas negativamente. Esto significa que un objeto cargado negativamente tiene (igual/desigual) cantidad de partículas positivas y negativas.

* * * * *

desigual

2. El vidrio frotado con seda tiene más partículas (positivas que negativas/negativas que positivas). El hule frotado con lana tiene más partículas (positivas que negativas/negativas que positivas).

* * * * *

positivas que negativas; negativas que positivas

3. Un experimento llamado efecto de Hall (que veremos en el capítulo 4) nos lleva posteriormente a suponer que, en un sólido, solamente las partículas cargadas *negativamente,* que llamaremos *electrones,* son las que pueden moverse en el sólido si es un conductor, o ser retiradas de su superficie si es un aislador. Cuando un sólido se carga frotándolo con otro material, se agregan o retiran de él partículas (positivas/negativas).

* * * * *

negativas

4. Los electrones son partículas cargadas (positivamente/negativamente). Al frotar un vidrio con seda se produce una carga positiva en el vidrio porque (se agregan electrones a/se retiran electrones de) la superficie del vidrio.

* * * * *

negativamente; se retiran electrones de

5. Lea de nuevo los pasos 2 a 4 del Panel 1. Después de que el vidrio se ha frotado con la seda, vidrio y seda se (atraen/repelen). Basados en las suposiciones que hemos hecho acerca de la carga eléctrica, es razonable suponer que se han retirado electrones (del vidrio/de la seda) y el experimento debe demostrar que la seda ahora está cargada (positivamente/negativamente).

* * * * *

atraen; del vidrio; negativamente (porque tiene un exceso de electrones)

6. En un experimento, se frota una barra de vidrio con seda. En seguida la seda es acercada a un electroscopio cargado positivamente. Las láminas se juntan. Esto prueba que la seda está cargada (positivamente/negativamente).

* * * * *

negativamente

7. Podemos emplear las suposiciones de nuestra teoría de la carga eléctrica para explicar la producción de carga negativa en una barra de hule frotada con lana. En este caso, los ..... son retirados de la lana y depositados en el hule. Las pruebas hechas con un electroscopio cargado adecuadamente mostrarán que la carga en la lana es (positva/negativa).

* * * * *

electrones; positiva

8. La distribución de las cargas en los conjuntos vidrio-seda y hule-lana son ejemplos de un principio general llamado *principio de conservación de la carga eléctrica.* Siempre que se crea una carga positiva, al mismo tiempo se produce una cantidad igual de carga .....

* * * * *

negativa

9. Un objeto *A* es frotado con un objeto *B,* produciéndose una carga negativa en *B.* Esto significa que en *A* se ha producido una carga

..... Este es un ejemplo de la ley de la ..... de la carga eléctrica.

* * * * *

positiva; conservación

10. En un lapso aproximado de 1000 seg, un neutrón fuera de un nucleo atómico se desintegra en diversas partículas. Una de estas partículas es el electrón, cuya carga eléctrica es ..... Sabemos que los neutrones no tienen carga; esto significa que uno u otro de los productos de la desintegración debe tener una carga .....

* * * * *

negativa; positiva.

11. De acuerdo con la teoría que hemos desarrollado, una carga eléctrica negativa en un aislador o en un conductor sólidos indica (deficiencia/exceso) de electrones en el aislador o el conductor. Una carga positiva indica (deficiencia/exceso) de electrones.

* * * * *

exceso; deficiencia

12. En los conductores las cargas se mueven libremente. Los electrones son partículas cargadas (negativamente/positivamente); por lo tanto, los ..... se mueven libremente en los conductores.

* * * * *

negativamente; electrones

13. Los electrones en un conductor son (atraídos/repelidos) por una carga negativa; los electrones en un conductor son (atraídos/repelidos) por una carga positiva.

* * * * *

repelidos; atraídos

14. Ahora aplicaremos esta teoría al Panel 6. Cuando el electroscopio está cargado positivamente, hay (exceso/deficiencia) de electrones en sus láminas. Cuando se acerca a la perilla del electroscopio una barra cargada negativamente, los electrones son (atraídos, de las láminas hacia la perilla del electroscopio/repelidos, de la perilla hacia las láminas).

* * * * *

deficiencia; repelidos, de la perilla hacia las láminas

15. Los electrones, al ser repelidos hacia las láminas, anulan la carga positiva en ellas, y entonces (se separan/se juntan). Esto se debe a que

las partículas cargadas (negativamente/positivamente) tienen libertad de movimiento en los (aisladores/conductores).

* * * * *

se juntan; negativamente; conductores

16. Las láminas de un electroscopio cargado negativamente se separan porque hay (exceso/deficiencia) de electrones en las láminas. Cuando una carga positiva es acercada a la perilla de un electroscopio cargado negativamente, los electrones son (repelidos de la perilla hacia las láminas/atraídos de las láminas hacia la perilla).

* * * * *

exceso; atraídos, de las láminas hacia la perilla

17. Al acercar una carga positiva a la perilla de un electroscopio cargado negativamente, la carga atrae los ..... de las láminas. Esto anula la carga ..... en las láminas y éstas (se separan/se juntan).

* * * * *

electrones; negativa; se juntan

18. Vea el Panel 7. La letra en la esquina superior derecha es una....

* * * * *

F

19. Lea detenidamente el Panel 7. Describe un método para producir una carga por *inducción*. En este experimento el electroscopio (es/no es) cargado por contacto con la barra cargada.

* * * * *

no es

20. Panel 7. Una carga *inducida* es aquella que se produce en un (conductor/aislador); es producida en tal forma, que no hay ..... entre el objeto que produce la carga y el objeto por cargar.

* * * * *

conductor; contacto

21. Panel 7. En la Fig. 4, el electroscopio ha sido cargado por (contacto/inducción). A esta carga se le llama: carga .....

* * * * *

inducción; inducida

22. Panel 7. Podemos explicar la carga inducida, refiriéndonos a las hipótesis que hemos hecho acerca de los electrones. Cuando la barra cargada negativamente es acercada a la perilla de un electroscopio descargado, los electrones son (atraídos desde/repelidos hacia) las láminas. Esto da a las láminas una carga ..... y se separan.

* * * * *

repelidos hacia; negativa

23. Panel 7. En la Fig. 1, los electrones son repelidos hacia las láminas porque no pueden irse a ninguna otra parte. En la Fig. 2, los electrones también pueden irse a .....

* * * * *

Tierra

24. Panel 7. En la Fig. 2, algunos de los electrones repelidos de la perilla se van a tierra. Puesto que el exceso de electrones en las láminas se vuelve despreciable, las láminas (se separan/se juntan).

* * * * *

se juntan

25. Panel 7, Fig. 2. Puesto que los electrones han sido repelidos a tierra, hay (exceso/deficiencia) de electrones en el electroscopio. Cuando la conexión a tierra es cortada (Fig. 3), los electrones repelidos (pueden/no pueden) regresarse.

* * * * *

deficiencia; no pueden

26. Panel 7. Cuando la tierra es desconectada y la barra retirada, el electroscopio queda con deficiencia de electrones y cargado .....

* * * * *

positivamente

27. En el Panel 7, al electroscopio se le da carga positiva por (contacto/inducción). Para producir esta carga, se empleó una carga (positiva/negativa).

* * * * *

inducción; negativa

28. Para dar a un electroscopio una carga negativa por contacto se requiere una barra cargada (negativamente/positivamente). Para dar a

un electroscopio una carga negativa por inducción se requiere una barra cargada (negativamente/positivamente).

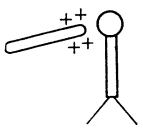
* * * * *

negativamente; positivamente

29. Ahora produciremos una carga negativa por inducción. Cuando acercamos una barra cargada positivamente a la perilla de un electroscopio sin carga, los electrones son (atraídos hacia/repelidos de) ella; entonces, las láminas adquieren una carga ..... y (se separan/se juntan). Dibuje un diagrama de esta parte del experimento.

* * * * *

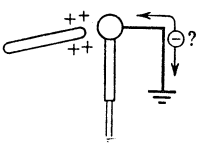
atraídos hacia; positiva; se separan



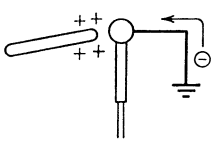
30. Ahora conectamos a tierra un electroscopio descargado. Cuando acercamos a la perilla una barra cargada positivamente, la barra (atrae electrones de/repele electrones hacia) la tierra, dando así al electroscopio (exceso/deficiencia) de electrones.

* * * * *

atrae electrones de; exceso



31. El exceso de electrones es mantenido en la perilla por la carga ... . mantenida cerca de ella. Las láminas permanecen juntas porque el exceso de electrones (se extiende/no puede extenderse) a ellas.



* * * * *

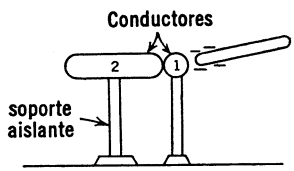
positiva; no puede extenderse

32. Se desconecta la tierra. Esto deja al electroscopio con una carga ..... Cuando la barra positiva es retirada, esta carga se extiende a las láminas, y éstas se (separan/juntan). Dibuje un diagrama *(a)* después de que la tierra es desconectada, y *(b)* después de que la barra (+) es retirada.

* * * * *

negativa; separan

33.



Estos objetos son neutrales. Cuando la barra cargada negativamente es acercada al objeto núm. 1, algunos electrones son (repelidos hacia/atraídos de) el objeto núm. 2.

* * * * *

repelidos hacia

34. Si los objetos 1 y 2 del cuadro anterior son separados mientras la barra cargada es mantenida cerca, y entonces es retirada la carga, el objeto núm. 1 queda con carga (positiva/negativa/nula), y el objeto núm. 2 queda con carga (positiva/negativa/nula).

* * * * *

positiva; negativa

35. Puesto que el exceso de electrones del objeto núm. 2 explica la deficiencia de electrones en el objeto núm. 1, podemos decir que las magnitudes (sin importar su signo) de las cargas resultantes en 1 y 2 son (iguales/diferentes). Esto ilustra la ley de la .....

* * * * *

iguales; conservación de la carga (eléctrica)

Sección 4. Ley de Coulomb para cargas "puntuales" Unidades de carga y valores de k

Nota: Hasta ahora sólo hemos estudiado cualitativamente la electricidad estática. Hemos descrito las fuerzas entre objetos cargados, sin medirlas. En esta sección comenzaremos el estudio cuantitativo de las fuerzas eléctricas con una de las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo, llamada *ley de Coulomb para cargas puntuales.* En este campo particular de la física, la ley de Coulomb tiene la misma importancia capital que atribuimos en mecánica a la ley de Newton de la gravitación universal.

1. Los objetos cargados ejercen empujones y jalones entre ellos y sobre objetos descargados. A estos empujones y jalones, que resultan de las cargas eléctricas, los llamamos *fuerzas eléctricas.* Las masas son atraídas hacia el centro de la Tierra por fuerzas (eléctricas/gravitacionales). Un trocito de papel es atraído por un cepillo para el cabello por fuerzas (eléctricas/gravitacionales).

* * * * *

gravitacionales; eléctricas

2. Hemos visto que las fuerzas (gravitacionales/eléctricas) son de atracción y de repulsión.

* * * * *

eléctricas

3. Para tratar matemáticamente las fuerzas eléctricas, tenemos que idear un método para producir cantidades iguales de carga. En el Panel 8 se ilustra un método simple para lograrlo. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

N

4. Panel 8. *A* y *B* son dos esferas huecas de metal, con radios *iguales;* están hechas del *mismo material conductor. A* está cargada positivamente y *B* no tiene ninguna carga. Cuando *A* es tocada por *B,* debemos esperar que *A* (comparta/no comparta) su carga con *B.*

* * * * *

comparta

5. Panel 8. Puesto que *A* y *B* tienen radios (iguales/desiguales) y están hechas del mismo material conductor, podemos esperar que se repartan la carga original de *A* (igualmente/desigualmente).

* * * * *

iguales; igualmente

6. Panel 8. En la Fig. 3, la carga de *B* es (el doble de/la mitad de/igual a) la carga de *A* en la Fig. 1.

* * * * *

la mitad de

7. Panel 8. En la Fig. 4 la carga de *B* ha sido descargada a tierra. En la Fig. 5, *B* es puesta nuevamente en contacto con *A*. Cuando *B* es entonces separada de *A*, su carga será (igual/desigual) a la carga dejada en *A*, y (la mitad de/una cuarta parte de) la carga que tiene *A* en la Fig. 1.

* * * * *

igual; una cuarta parte de

8. Ahora tenemos un procedimiento para controlar la cantidad relativa de carga en dos o más esferas de metal similares. Podemos reducir a la mitad la carga de una esfera, simplemente tocándola con una esfera similar (cargada/descargada).

* * * * *

descargada

9. Vea el Panel 9. La letra en la esquina superior derecha es una....

* * * * *

G

10. Panel 9. Lea el párrafo descriptivo. Las esferas *A* y *B* son similares en su radio y material. Suponga que hay una carga en *A* y que no hay carga en *B*. Cuando *A* y *B* son puestas en contacto y después separadas por una distancia especificada, se (atraen/repelen) y la aguja se mueve hacia (arriba/abajo). El desplazamiento de la aguja es una medida de la fuerza ..... entre las esferas, a esta distancia.

* * * * *

repelen; arriba; eléctrica

11. Panel 9. Supóngase que tenemos una tercera esfera *C*, idéntica a *A* y a *B*, que la usamos para reducir la carga en *A* o en *B*. Cuando *C* es

tocada por *A* o por *B*, reduce la carga en *A* o *B*, a ..... (cantidad).

* * * * *

la mitad

12. Vea el Panel 10. La letra que está en la esquina superior derecha es una....

* * * * *

P

13. Panel 10. Lea los pasos 1 a 3 de este experimento. La distancia entre los centros de las esferas cargadas es (variada/mantenida constante) en esta parte del experimento; la carga en la esfera *A* es (variada/mantenida constante).

* * * * *

mantenida constante; variada

14. Panel 10. Después de que la esfera *A* es tocada con la esfera *B*, ambas tienen (la misma carga/cargas diferentes).

* * * * *

la misma carga

15. Panel 10. Aún no hemos definido o determinado un patrón para medir la carga. Por ahora, digamos que cada una de las esferas *A* y *B* tiene una unidad (1) de carga, tal como están en el paso 2 de este experimento.

El desplazamiento de la aguja indicadora, del 10 al 45, es una medida de la ..... entre *A* y *B* cuando cada una tiene 1 unidad de carga, y están separadas una distancia de .... centímetros.

* * * * *

fuerza eléctrica; 25

16. Panel 10. Vea el paso 4. Cuando cada una de las esferas *A* y *B* tiene una carga de 1 unidad (tal como se definió en el cuadro anterior), la fuerza eléctrica entre ellas hace que la aguja indicadora se mueva .... unidades en la escala.

* * * * *

35

17. Panel 10, pasos 3 y 4. Después de que *A* ha sido tocada con *C* por primera vez, tiene (1/½/¼) unidad de carga. Entonces, la fuerza eléc-

trica entre *A* y *B* es (la misma/la mitad/la cuarta parte) de la que había en el paso 2.

* * * * *

½; la mitad

18. Panel 10, pasos 3 y 4. Cuando *A* ha sido tocada por *C* por segunda vez, tiene (½/¼/⅛) de su carga inicial, y la fuerza eléctrica entre *A* y *B* es .... (fracción) de la que había cuando tenían cargas iguales.

* * * * *

¼; ¼

19. Panel 10, Pasos 3 y 4. Cuando *A* ha sido tocada por *C* por tercera vez, debemos esperar que la aguja se mueva .... (fracción) del desplazamiento que tenía cuando *A* y *B* tenían cargas unitarias. ¿Verifica esto la tabla en el paso 4 (es decir, 4⅜ representa esta fracción de 35)? (Sí/no).

* * * * *

⅛; sí (4⅜ es ⅛ de 35)

20. Panel 10. Después del paso 3*(d)*, la esfera *A* tiene .... (fracción) de la carga unitaria que tenía en el paso 2, y la esfera *B tiene .... (fracción)* de la carga unitaria que tenía en el paso 2.

* * * * *

⅛; ½

21. Panel 10. Después del paso 3*(d)* de este experimento, la fuerza eléctrica es (½/⅛/alguna otra fracción) de la que había después del paso 2.

* * * * *

alguna otra fracción (porque el desplazamiento de la aguja, que es 2⅜₁₆, no es ½ de 35 ó ⅛ de 35. Es ₁⁄₁₆ de 35)

22. Panel 10, paso 4. Compare las columnas IV y V. La fuerza eléctrica entre *A* y *B* es (inversamente/directamente) proporcional al ..... de las cargas en *A* y *B* cuando la distancia entre ellas es .....

* * * * *

directamente; producto; constante

23. Panel 10. Los pasos 1 a 4 de este panel muestran que la fuerza ..... entre dos esferas cargadas es directamente proporcional

al producto de las ....., si la ..... entre sus centros se mantiene constante.

* * * * *

eléctrica; cargas; distancia

24. Panel 10. Lea los pasos 5 a 7. En esta parte del experimento, la distancia entre las esferas cargadas es (constante/variable) y el producto de las cargas en las esferas es (constante/variable).

* * * * *

variable; constante

25. Panel 10. Los pasos 5 a 7 están destinados a investigar la relación entre la fuerza eléctrica que hay entre dos esferas cargadas, y [*(a)* la carga en cualquiera de las esferas/*(b)* el producto de las cargas de las esferas/*(c)* la distancia entre los centros de las esferas].

* * * * *

(c)

26. Panel 10, panel 7. La relación buscada no es aquí tan obvia como la que hay entre la fuerza eléctrica y el producto de las cargas. Sin embargo, advertimos a primera vista que cuando la distancia entre las esferas cargadas disminuye, la fuerza eléctrica (aumenta/disminuye).

* * * * *

aumenta

27. Panel 10, paso 7. La tabla indica que la fuerza eléctrica *no puede* ser (directamente/inversamente) proporcional a la distancia entre los centros de las esferas.

* * * * *

directamente

28. Dos variables x y y son inversamente proporcionales si su producto es constante, o sea: $xy = k$.

Aplique esta regla a las mediciones de fuerza eléctrica y distancia del paso 7 del Panel 10. ¿Son inversamente proporcionales la distancia y la fuerza eléctrica? (sí/no).

* * * * *

No. (Porque en el primer renglón, $30 \times 20 = \mathbf{600}$; en el segundo renglón $15 \times 80 = \mathbf{1200}$. Obviamente, el producto de la distancia por la fuerza eléctrica *no* es constante.)

29. Panel 10, paso 7. La fuerza eléctrica no es inversamente proporcional a la distancia. Sin embargo, pudiera ser inversamente proporcional al *cuadrado* de la distancia. En tal caso (fuerza eléctrica) $\times$ (distancia)^2 = constante. Pruebe esto con los datos de la tabla. ¿Es la fuerza eléctrica inversamente proporcional al cuadrado de la distancia? (sí/no).

* * * * *

Sí (porque, en el primer renglón, $(30)^2 \times 20 =$ **18,000**
En el segundo renglón, $(15)^2 \times 80 =$ **18,000**
Y así sucesivamente.
En el último renglón, $(75)^2 \times 3\frac{1}{5} =$ **18,000.**)

30. Panel 10. Los experimentos descritos en el panel 10 nos permiten hacer el siguiente enunciado acerca de la fuerza eléctrica entre dos esferas cargadas y la distancia entre sus centros: La fuerza eléctrica es (directamente/inversamente) proporcional al ..... de las cargas y *(e)* (directamente/inversamente) proporcional al ..... de la distancia entre sus centros.

* * * * *

directamente; producto; inversamente; cuadrado

31. Sean Q_1 y Q_2 las cargas de dos esferas y d la distancia entre sus centros. Si F_e es la fuerza eléctrica entre ellas, entonces $F_e = k$ ....., donde k es una constante de proporcionalidad.

* * * * *

$$\frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

32. La ley que hemos deducido en el Panel 10 es, estrictamente hablando, exacta únicamente para objetos cargados cuyo tamaño es pequeño comparado con la distancia que los separa. Los físicos dicen que es estrictamente precisa únicamente para *cargas puntuales,* es decir, para cargas que podemos considerarlas concentradas en un .....

* * * * *

punto

33. En adelante nos referiremos a esta ley como *ley de Coulomb para cargas puntuales.* Esta ley es aplicable precisamente sólo donde los tamaños de los objetos cargados son (grandes/pequeños) comparados con la ..... entre ellos.

* * * * *

pequeños; distancia

34. La ley de Coulomb para cargas puntuales es idéntica en forma matemática a la ley de Newton de la gravitación universal. La fuerza gravitacional, F_g, entre las masas m_1 y m_2 separadas por una distancia d, es $F_g = G$ ..... La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales q_1 y q_2 separadas por una distancia d es $F_e = k$ ..... G y k son ..... de proporcionalidad.

* * * * *

$\frac{m_1 m_2}{d^2}$; $\frac{q_1 q_2}{d^2}$; constantes

35. La ley de Coulomb para cargas puntuales y la ley de Newton de la gravitación universal son leyes de *cuadrado inverso*. Explique por qué.

* * * * *

Las fuerzas que describen son *inversamente proporcionales* al *cuadrado* de la distancia implicada.

36. $F_e = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$

Esta ecuación representa la ley de ..... para cargas eléctricas concentradas en .....

* * * * *

Coulomb; puntos

37. Exprese con palabras la ley de Coulomb para cargas puntuales, usando el concepto de proporcionalidad.

* * * * *

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

38. $F_e = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$.

En esta ecuación, el valor de k depende de las unidades que se utilicen para medir la fuerza, la distancia y la .....

* * * * *

carga, o carga eléctrica

39. La carga eléctrica no se puede hacer infinitamente pequeña. Hay cierta cantidad *mínima* de carga, la cual de hecho, es la cantidad de carga que hay en un electrón o en un protón. A esta cantidad mínima

la llamamos *carga elemental* (que se abrevia "ce"). ¿Es posible que un objeto tenga media unidad de carga natural? (Sí/no.) Explique.

* * * * *

No. (Porque la unidad natural de carga es la cantidad *mínima* de carga que puede tener cualquier objeto.)

40. La cantidad mínima de carga eléctrica *negativa* es la que se encuenta en un ..... La cantidad mínima de carga eléctrica *positiva* es la que se encuentra en un ..... Esta cantidad mínima de carga (positiva o negativa) se llama unidad de .....

* * * * *

electrón; protón; carga elemental (o "ce")

41. Una partícula alfa es un átomo de helio al cual se le han quitado dos electrones. Por lo tanto, una partícula alfa tiene (exceso/deficiencia) de dos electrones, y una carga (positiva/negativa) de ..... *(número)* unidades naturales de carga.

* * * * *

deficiencia; positiva; 2

42. $F_e = k\dfrac{q_1 q_2}{d^2}$

Cuando la fuerza se mide en newtons, la distancia en metros y la carga en unidades naturales de carga, k tiene el valor:

$$k = 2.3 \times 10^{-28} \frac{\text{newton-m}^2}{(\text{ce})^2}$$

Calcule la fuerza eléctrica entre dos electrones separados por 1 m de distancia.

* * * * *

$$F_e = 2.3 \times 10^{-28} \frac{\text{newton-m}^2}{(\text{ce})^2} \frac{(-1\text{ ce})(-1\text{ ce})}{(1\text{ metro})^2} = 2.3 \times 10^{-28}\text{ newton}$$

(*¡Piense!* El producto de dos cargas con el mismo signo siempre es positivo. Esto nos da una fuerza positiva. ¿Qué indicaría un valor negativo de F_e?)

43. La carga de un protón es una carga elemental positiva. Calcule la fuerza eléctrica de atracción entre un electrón y un protón a una distancia de 1.0×10^{-8} metro.

* * * * *

$$F_e = (2.3 \times 10^{-28}) \frac{(-1\text{ ce})(+1\text{ ce})}{(1.0 \times 10^{-8})^2}$$

$$F_e = -\frac{2.3 \times 10^{-28}}{1.0 \times 10^{-16}} = -2.3 \times 10^{-12} \text{ newton}$$

(*¡Piense!* ¿Cuál es el significado del signo menos?)

44. El protón y el electrón del problema anterior se (atraen/repelen). El signo menos que tiene la fuerza del problema anterior indica que es una fuerza de (atracción/repulsión).

* * * * *

atraen; atracción

45. $F_e = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$.

El valor de k en la ley de Coulomb es:

$$k = 2.3 \times 10^{-28} \frac{\text{newton-m}^2}{(\text{ce})^2}$$

cuando q_1 y q_2 se miden en ....., F_e se mide en ..... y d se mide en .....

* * * * *

unidades naturales de carga (e); newtons; metros

46. Una partícula alfa es una partícula subatómica con dos unidades de carga elemental positivas. Un deuterón es una partícula subatómica con una unidad elemental de carga positiva. Calcule la fuerza eléctrica entre estas partículas, a una distancia de 2.0×10^{-7} metro.

* * * * *

$$F_e = (2.3 \times 10^{-28}) \frac{(+2)(+1)}{(2.0 \times 10^{-7})^2}$$

$$= \frac{4.6 \times 10^{-28}}{4.0 \times 10^{-14}} = 1.2 \times 10^{-14} \text{ newton}$$

47. Una unidad natural de carga es extremadamente pequeña. Por ejemplo, la carga que se da a una barra de vidrio cuando se frota con seda, implica la remoción de muchos millones de electrones y la carga se mide en muchos millones de unidades elementales de carga.

El culombio es una unidad de carga que se emplea para describir con cifras más pequeñas, cargas como la de la barra de vidrio. El culombio es (mayor que/menor que/igual a) una unidad elemental de carga.

* * * * *

mayor que

48. La fracción más pequeña de un culombio de carga debe ser una unidad ..... de ..... Esto se debe a que la carga (se puede/no se puede) reducir a cantidades infinitamente pequeñas. (Hay/no hay) una cantidad mínima definida de carga.

* * * * *

elemental de carga; no se puede; Hay

49. $F_e = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$. Cuando q_1 y q_2 se miden en culombios, F_e en newtons y d en metros, $k = 9.0 \times 10^9 \frac{\text{newton-m}^2}{\text{culombio}^2}$. Calcule la fuerza eléctrica entre dos cargas positivas de 1.0×10^{-6} culombios y 2.0×10^{-5} culombios, cuando están separadas por una distancia de 10 metros.

* * * * *

$$F_e = 9.0 \times 10^9 \frac{\text{newton-m}^2}{\text{culombio}^2} \times \frac{(1.0 \times 10^{-6}\ \text{culombio})\,(2.0 \times 10^{-5}\ \text{culombio})}{(10\ \text{m})^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \frac{2.0 \times 10^{-11}}{100}$$

$$= 18 \times 10^{-4} \text{ newton.}$$

50. $F_e = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$. Usamos $k =$ ..... cuando F_e está en newtons, d en metros y q en cargas elementales. Usamos $k =$ ..... cuando F_e está en newtons, d en metros y q en culombios.

* * * * *

2.3×10^{-28}; 9.0×10^9

51. Un culombio equivale a 6.25×10^{18} cargas elementales. Una carga positiva de 2.00×10^{-5} culombios equivale a una deficiencia de .... *(número)* electrones.

* * * * *

1 culombio $= 6.25 \times 10^{18}$ cargas elementales.

2.00×10^{-5} culombio $= (2.00 \times 10^{-5})(6.25 \times 10^{18})$ cargas elementales.

$= 12.5 \times 10^{13}$ cargas elementales.

52. 1 culombio $= 6.25 \times 10^{18}$ cargas elementales.

1 carga elemental = ... culombio *(calcúlela con dos decimales.)*

* * * * *

6.25×10^{18} cargas elementales $=$ 1 culombio

$$1 \text{ carga elemental (ce)} = \frac{1 \text{ culombio}}{6.25 \times 10^{18}}$$

$$= 0.16 \times 10^{-18} = \mathbf{1.6 \times 10^{-19}} \textbf{ culombio}$$

53. Se frota vigorosamente con lana una barra de hule endurecido (ebonita). ¿Cuántos electrones deben depositarse en la barra, para darle una carga negativa de 3.0×10^{-4} culombio?

* * * * *

Cada electrón deposita una carga natural. Por lo tanto, se deben depositar en la barra de ebonita $(3.0 \times 10^{-4})(6.25 \times 10^{18}) = 18.75 \times 10^{14}$ electrones.

54. Una partícula alfa tiene una carga positiva de dos cargas elementales. ¿Cuál es su carga en culombios?

* * * * *

1 carga elemental $= 1.6 \times 10^{-19}$ culombio

2 cargas elementales $= \mathbf{3.2 \times 10^{-19}}$ **culombio**

Sección 5. Repaso y problemas

Nota: Si tiene usted dudas acerca de las respuestas de los siguientes cuadros de repaso, lea de nuevo los experimentos descritos en los Paneles 1 a 10.

1. Definimos una carga negativa como aquella que es (atraída/repelida) por una carga dada a una barra de hule al ser frotada con lana.

* * * * *

repelida

2. La carga que se da a una barra de vidrio al ser frotada con seda, es una carga (positiva/negativa).

Cuando está cargada la barra de vidrio (atrae/repele/no afecta) a objetos descargados; (atrae/repele/no afecta) a objetos cargados negativamente.

* * * * *

positiva; atrae; atrae.

3. Un extremo de una barra de hule es frotado vigorosamente con lana. La carga dada así a la barra, [*(a)* se extiende a toda la superficie/*(b)*

permanece en el lugar que se frotó] porque el hule es un (aislador/conductor) de carga eléctrica.

* * * * *

(b); aislador

4. La carga se extiende por toda la superficie de un metal conductor, porque un conductor sólido contiene partículas cargadas llamadas .... que tienen libertad de movimiento bajo la influencia de fuerzas eléctricas.

* * * * *

electrones

5. Los aisladores también contienen electrones. Los electrones en los aisladores (están/no están) en libertad de moverse sobre la superficie del aislador.

* * * * *

no están

6. Cuando se da una carga a una barra de vidrio con una tela de seda, la barra y la tela quedan con cargas (iguales/desiguales) con (el mismo signo/signos opuestos). Esta es una ilustración de la Ley de la .... (de la) .....

* * * * *

iguales; signos opuestos; conservación (de la) carga

7. La carga positiva dada a una barra de vidrio al frotarla con seda, se debe al hecho de que, después de que es frotada tiene (exceso/deficiencia) de electrones.

* * * * *

deficiencia

8. Exprese con palabras la ley de Coulomb para cargas puntuales.

* * * * *

La fuerza eléctrica entre dos objetos cargados es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

9. Se emplea una carga negativa para cargar por inducción un electroscopio. La carga dada al electroscopio es (positiva/negativa/neutral).

* * * * *

positiva

10. Escriba una ecuación que relacione entre sí a la fuerza eléctrica F_e entre dos cargas puntuales Q y q, con las cargas y con la distancia, r, entre sus centros. Use k como constante de proporcionalidad.

* * * * *

$F_e = k\dfrac{Qq}{r^2}$

11. $F_e = k\dfrac{Qq}{r^2}$. El valor numérico de k es 9.0×10^9 cuando F_e se mide en ....., r en ..... y Q y q en .....

* * * * *

newtons; metros; culombios

12. La ley de Coulomb para fuerzas eléctricas y la ley de Newton de la gravitación universal tienen en común un hecho muy importante: ambas son leyes de cuadrado .....

* * * * *

inverso

13. La carga eléctrica (se puede/no se puede) subdividir indefinidamente.

* * * * *

no se puede

14. La cantidad mínima de carga disponible es la cantidad de carga que hay en un ..... o en un ..... Se le llama unidad .... de .....

* * * * *

electrón; protón; elemental (de) carga

15. Vea el Panel 11. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

H

16. Panel 11. Lea el problema 1. En la parte *(a)* usamos la ley de Newton de la gravitación universal, cuya forma matemática es $F_g = G$ ..... (use m_1, m_2 y d).

* * * * *

$\dfrac{m_1 m_2}{d^2}$

17. Panel 11, problema 1*(a)*. Calcule la fuerza gravitacional entre los electrones descritos en este problema.

* * * * *

$$F_g = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$= (6.67 \times 10^{-11})\frac{(9.0 \times 10^{-31})(9.0 \times 10^{-31})}{(1.00)^2}$$

$$= (6.67 \times 10^{-11})(81 \times 10^{-62})$$

$$= 5.4 \times 10^{-71} \text{ newton}$$

18. Panel 11, problema 1. En la parte *(b)*, q_1 y q_2 son ambas .... (signo, número y unidades).

* * * * *

−1 carga elemental

19. Panel 11, problema 1. Calcule la fuerza eléctrica de repulsión que se pide en la parte *(b)*.

* * * * *

$$F_e = (2.3 \times 10^{-28})\frac{(-1)(-1)}{(1)^2}$$

$$= 2.3 \times 10^{-28} \text{ newton}$$

20. Panel 11, problema 1. $F_e = 2.3 \times 10^{-28}$ newton.

$F_g = 5.4 \times 10^{-71}$ newton.

Es obvio que la fuerza eléctrica es mucho más (grande/pequeña) que la fuerza gravitacional.

* * * * *

grande

21. Panel 11, problema 1. Calcule la razón F_e a F_g como se pide en *(c)*.

* * * * *

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{2.3 \times 10^{-28}}{5.4 \times 10^{-71}} \approx 4.3 \times 10^{42}$$

22. Panel 11, problema 2. En este problema la carga se pide en .... *(unidades)*. Esto significa que el valor numérico de k debe ser .....

* * * * *

cargas elementales; 2.3×10^{-28}

23. Panel 11. Lea el problema 2. Si suponemos que éstas son cargas "puntuales" (podemos/no podemos) usar la Ley de Coulomb para resolver este problema.

* * * * *

podemos

24. Panel 11, problema 2. Sea: Q = carga en cada objeto. Calcule Q con los datos que se dan.

$$F_e = k\frac{QQ}{d^2} = k\frac{Q^2}{d^2}$$

$$9.2 \times 10^{-4} = 2.3 \times 10^{-28}\frac{Q^2}{10^2}$$

$$Q^2 = 4.0 \times 10^{26}$$

$$Q = 2.0 \times 10^{13} \text{ cargas elementales}$$

25. Panel 11, problema 2. Convierta a culombios la respuesta calculada en el cuadro anterior.

* * * * *

1 carga elemental $= 1.6 \times 10^{-19}$ culombio

$$2.0 \times 10^{13} \text{ cargas elementales} = (2.0 \times 10^{13})(1.6 \times 10^{-19}) \text{ culombio}$$

$$= 3.2 \times 10^{-6} \text{ culombio}$$

26. Panel 11. Lea el problema 3. Puesto que q_1 y q_2 tienen cargas con (el mismo signo/signos opuestos), la fuerza eléctrica ejercida por q_1 sobre q_2 será hacia la (izquierda/derecha).

* * * * *

signos opuestos; izquierda (q_1 atraerá hacia sí a q_2)

27. Panel 11, problema 3*(a)*. Calcule la magnitud de la fuerza eléctrica que q_1 ejerce sobre q_2 *(Piense:* ¿Qué constante de proporcionalidad usará usted?) Ya hemos determinado la dirección, por lo tanto usted puede ignorar en estos cálculos los signos de las cargas.

* * * * *

$$F_e = (9.0 \times 10^9)\frac{(2.0 \times 10^{-6})(2.0 \times 10^{-6})}{(2 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9)(4.0 \times 10^{-12})}{4 \times 10^{-4}}$$

$$= 9.0 \times 10^1 = 90 \text{ newtons}$$

28. Panel 11, problema 3*(a)*. La magnitud y la dirección de la fuerza eléctrica de q_1 sobre q_2 es .....

* * * * *

90 newtons hacia la izquierda

29. Panel 11, problema 3. La dirección de la fuerza eléctrica de q_3 sobre q_2 es hacia la .....

* * * * *

derecha

30. Panel 11, problema 3*(b)*. Calcule la magnitud de la fuerza eléctrica de q_3 sobre q_2.

* * * * *

$$F_e = (9.0 \times 10^9)\,\frac{(2.0 \times 10^{-6})\,(4.0 \times 10^{-6})}{(6 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9)\,(8.0 \times 10^{-12})}{36 \times 10^{-4}}$$

$$= 2 \times 10 = 20 \text{ newtons}$$

31. Panel 11, problema 3*(c)*. La suma vectorial de estas fuerzas [calculadas en *(a)* y *(b)*] es: ..... *(magnitud y drección)*.

* * * * *

(a) 90 newtons hacia la izquierda, *(b)* 20 newtons hacia la derecha, *(c)* la suma vectorial es 70 newtons hacia la izquierda.

32. Panel 11, problema 3. Considere la parte *(d)*. La dirección de la fuerza ejercida por q_1 sobre q_3 es hacia la ..... La dirección de la fuerza ejercida por q_2 sobre q_3 es hacia la .....

* * * * *

derecha; izquierda

33. Panel 11, problema 3*(d)*. Calcule la magnitud de la fuerza que ejerce q_1 sobre q_3.

* * * * *

$$F_e = 9.0 \times 10^9\,\frac{(2.0 \times 10^{-6})\,(4.0 \times 10^{-6})}{(8 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9)\,(8.0 \times 10^{-12})}{64 \times 10^{-4}} = 1.125 \times 10$$

$$= 11.25 \text{ newtons}$$

34. Panel 11, problema 3*(d)*. Calcule la magnitud de la fuerza eléctrica de q_2 sobre q_3.

* * * * *

$$F_e = 9.0 \times 10^9 \frac{(2.0 \times 10^{-6})(4.0 \times 10^{-6})}{(6 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9)(8.0 \times 10^{-12})}{36 \times 10^{-4}} = 20 \text{ newtons}$$

35. Panel 11. ¿Cuál es la respuesta al problema 3*(d)*?

* * * * *

Fuerza de q_1 sobre q_3 = 11.25 newtons hacia la derecha

Fuerza de q_2 sobre q_3 = 20 newtons hacia la izquierda

La suma vectorial de estas fuerzas es 8.75 newtons hacia la izquierda

36. Panel 11. Lea el problema 4. La fuerza eléctrica de q_1 sobre q_2 está dirigida hacia (la derecha/la izquierda/arriba/abajo).

* * * * *

la derecha

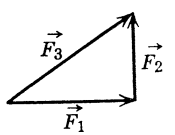
37. Panel 11, problema 4. La fuerza eléctrica de q_3 sobre q_2 está dirigida hacia (la derecha/la izquierda/arriba/abajo).

* * * * *

arriba

38. Panel 11, problema 4. $\vec{F}_1$ representa la fuerza de q_1 sobre q_2. $\vec{F}_2$ representa la fuerza de q_3 sobre q_2. $\vec{F}_3$ representa la ..... de $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$.

* * * * *



suma vectorial

39. Panel 11, problema 4. Calcule F_1 y F_2 como se definieron en el cuadro anterior.

* * * * *

$$F_1 = k\frac{q_1 q_2}{(AB)^2} = (9.0 \times 10^9)\frac{(1.0 \times 10^{-6})(1.0 \times 10^{-6})}{(3 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{(9.0 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-12})}{9 \times 10^{-4}} = 10 \text{ newtons}$$

$$F_2 = k\frac{q_3 q_2}{(BC)^2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(1.0 \times 10^{-6})(1.0 \times 10^{-6})}{16 \times 10^{-4}}$$

$$= 5.6 \text{ newtons}$$

40. Panel 11, problema 4. Calcule la suma vectorial de $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$. *(¡Piense!* Estas fuerzas actúan en ángulo de 90° entre sí.)

* * * * *

Usando el teorema de Pitágoras:

$$(F_3)^2 = (F_1)^2 + (F_2)^2$$

$$(F_3)^2 = 100 + 31.36 = 131.36$$

$$F_3 \approx 11.4 \text{ newtons}$$

41. Panel 11. Lea el problema 5. Sea Q = carga del electrón y carga del protón (sin considerar los signos). Sea r = radio de la órbita del electrón; sea m = masa del electrón; sea v = velocidad orbital del electrón. Escriba las ecuaciones para la fuerza eléctrica F_e del protón sobre el electrón y para la fuerza centrípeta F_c sobre el electrón, en función de su masa, su velocidad y el radio orbital.

* * * * *

$$F_e = \frac{kQ^2}{r^2}; \quad F_c = \frac{mv^2}{r^2}$$

42. Panel 11. En el problema 5 se nos dice que supongamos que F_c y F_e son (iguales/desiguales). Esto significa que podemos escribir una ecuación que relacione a m, v, r y Q. Escriba esta ecuación.

* * * * *

iguales; puesto que $F_e = k\frac{Q^2}{r^2}$ y $F_c = \frac{mv^2}{r^2}$,

$$k\frac{Q^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}, \text{ o más simplemente, } k\frac{Q^2}{r} = mv^2$$

43. Panel 11, problema 5. Sustituya con los datos suministrados en el problema 5 y despeje la velocidad orbital.

* * * * *

$$v^2 = \frac{kQ^2}{rm}$$

Puesto que Q está dada en carga elemental, usamos $k = 2.3 \times 10^{-28}$

$$v^2 = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(1)^2}{(0.53 \times 10^{-10})(9.0 \times 10^{-31})} = 0.48 \times 10^{13} = 4.8 \times 10^{12}$$

$$v = 2.2 \times 10^6 \text{ m/seg.}$$

PROBLEMAS

1. Dado lo siguiente: un trozo de piel de gato, una barra de vidrio, una barra de ebonita (hule endurecido) y una corbata de seda, describa cómo produciría usted: *(a)* una carga eléctrica positiva y *(b)* una carga eléctrica negativa.

2. Dado un electroscopio y los materiales mencionados en el problema anterior, describa *(a)* cómo daría usted al electroscopio una carga positiva, por contacto, *(b)* por inducción, *(c)* cómo dar al electroscopio una carga negativa por contacto, y *(d)* por inducción.

3. Se le da a usted un electroscopio cargado, pero no se sabe si la carga es positiva o negativa. Usted dispone de los materiales mencionados en el problema 1. Describa el procedimiento que emplearía para determinar si la carga del electroscopio es positiva o negativa, *sin descargar* el electroscopio.

4. Distinga entre conductores y aisladores, respecto a su comportamiento cuando se les da una carga eléctrica sobre alguna parte de ellos.

5. Describa la teoría electrónica de la carga.

6. Use la teoría electrónica de la carga para explicar lo que sucede cuando se da a un electroscopio una carga *negativa* por inducción.

7. Use la teoría electrónica de la carga para explicar lo que sucede cuando se da a un electroscopio una carga *positiva* por inducción.

8. Enuncie la ley de la conservación de la carga eléctrica. Diga cómo explica la teoría electrónica la conservación de la carga eléctrica.

9. Enuncie la ley de Coulomb para cargas puntuales.

10. Calcule el número de cargas elementales requeridas para suministrar una carga de 12 culombios. ¿Cuántos culombios hay en 1.25×10^{15} cargas elementales?

11. Las cargas puntuales de -15×10^{-6} culombios, y $+300 \times 10^{-6}$ culombios están separadas por una distancia de 0.2 metros. Calcule la fuerza eléctrica entre ellas. ¿Se atraen, o se repelen?

12. Las cargas puntuales de -4×10^5 cargas naturales y -12×10^6 cargas naturales están colocadas a 5 cm de distancia entre ellas. Calcule la fuerza eléctrica entre ellas. ¿Están atrayéndose, o repeliéndose?

13. La distancia entre q_1 y q_2 es de 5 cm. Entre q_2 y q_3 la distancia también es de 5 cm. El valor de q_1 es 5 culombios, de q_2 10 culombios, y de q_3 es -8 culombios. Calcule: *(a)* la fuerza eléctrica total sobre q_1, *(b)* la fuerza eléctrica total sobre q_2, y *(c)* la fuerza eléctrica total sobre q_3. Las tres cargas están a lo largo de la misma línea recta como en el problema 3 del panel 11.

14. Las cargas puntuales de 2.0×10^5 cargas elementales (ce) están colocadas en P, Q y R. El ángulo entre PQ y QR es de 90°; la distancia entre P y Q es 5 cm, y entre Q y R 12 cm. Calcule la fuerza eléctrica total sobre la carga que está en Q.

15. Calcule la fuerza eléctrica total sobre Q del problema 14, si la carga en P es negativa.

CAPITULO 2

CAMPO ELECTRICO Y POTENCIAL ELECTRICO

OBJETIVOS

Al terminar el estudio concienzudo de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Definir y calcular campos eléctricos alrededor de cargas puntuales.
2. Describir los campos eléctricos alrededor de esferas y cilindros cargados, dentro de esferas huecas cargadas y entre dos placas con cargas opuestas.
3. Resolver problemas sobre diversos campos eléctricos.
4. Definir la energía potencial eléctrica.
5. Definir el potencial eléctrico y la diferencia de potencial.
6. Calcular potenciales eléctricos y diferencias de potencial eléctrico.
7. Definir la fuerza electromotriz (fem).

NOTA PRELIMINAR

En mecánica establecimos la noción de *campo gravitacional,* describiendo cuantitativamente la incluencia que una masa dada (como por ejemplo, la Tierra) ejerce sobre otras masas en el espacio que la rodea. El campo gravitacional se define como fuerza gravitacional por unidad de masa. Una noción igualmente importante relacionada con las fuerzas eléctricas que influyen sobre las cargas que están alrededor de objetos cargados, es el *campo eléctrico,* el cual definimos como fuerza eléctrica por unidad de carga. Los campos eléctricos serán el objeto principal de discusión en los dos capítulos siguientes.

Un concepto que aún no nos hemos encontrado es el de *potencial.* El potencial gravitacional se define como energía potencial gravitacional por unidad de masa; se mide en unidades tales como julios por kilogramo. Una cantidad física similar, pero que se usa con más frecuencia, es el *potencial eléctrico,* que se define como *energía potencial eléctrica por unidad de carga eléctrica* y se mide en unidades tales como julios por culombio (llamados voltios). En las ecuaciones de la electricidad y el

magnetismo, el potencial eléctrico ocurre con más frecuencia que la cantidad física de la que se deriva: la energía potencial eléctrica. Para el estudio de la corriente eléctrica, que discutiremos en el capítulo tres, es absolutamente indispensable comprender perfectamente bien el concepto de potencial eléctrico.

Sección 1. Campos eléctricos

Definición de campo eléctrico: $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$

Cálculo del campo eléctrico alrededor de una carga puntual: $E = \dfrac{kQ}{R^2}$

Dirección del campo

Campo debido a varias cargas puntuales

1. Definimos el campo eléctrico en cualquier punto del espacio, como la fuerza *eléctrica* ejercida sobre una pequeña carga positiva puntual q colocada en ese punto, dividida entre q. Sea E la magnitud del campo eléctrico en un punto donde la fuerza eléctrica ejercida sobre q es F. Entonces $E =$ ....

* * * * *

$\dfrac{F}{q}$

2. El campo eléctrico en un punto del espacio es la fuerza ..... por unidad de ..... en ese punto.

* * * * *

eléctrica; carga

3. Todas las fuerzas son cantidades vectoriales. Esto significa que las fuerzas eléctricas tienen ..... y .....

* * * * *

en cualquier orden: magnitud; dirección.

4. $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$. Esta ecuación define el ..... en un punto dado. Al igual que la fuerza eléctrica, es una cantidad ..... $\vec{E}$ tiene la misma (magnitud/dirección) que $\vec{F}$.

* * * * *

campo eléctrico; vectorial; dirección

5. Sobre una carga de prueba de 50 cargas elementales se aplica una fuerza eléctrica de 4.0×10^{-4} newtons. $E =$ .... *(número y unidades).*

* * * * *

$$E = \frac{4.0 \times 10^{-4} \text{ newtons}}{50 \text{ ce}} = 8 \times 10^{-6} \frac{\text{newton}}{\text{ce}}$$

6. Una fuerza eléctrica de 5×10^{-3} newtons actúa sobre una carga puntual de 2.5×10^{-6} culombios. Calcule el campo eléctrico en newtons/culombio.

* * * * *

$$\text{E} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ newtons}}{2.5 \times 10^{-6} \text{ culombios}} = 2 \times 10^{3} \text{ newtons/culombios}$$

7. Las unidades empleadas para medir el campo eléctrico son unidades de ..... divididas entre unidades de ..... Acomode las unidades de la columna II con las cantidades físicas de la columna I.

I	II
(a) carga	newtons
(b) campo eléctrico	julios/culombio
(c) energía	culombio
(d) fuerza	newtons/ce
	ce (carga elemental)
	julios/ce

* * * * *

fuerza; carga

(a) culombio y ce
(b) newtons/ce
(c) julios
(d) newtons

8. Vea el Panel 12. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

A

9. Panel 12. En la Fig. 1, Q es una carga puntual rodeada por su campo eléctrico. Podemos calcular la magnitud de este campo en cualquier punto, poniendo una carga de prueba q en este punto y encontrando la razón de la ..... eléctrica sobre q a la ..... sobre q.

* * * * *

fuerza; carga

10. Panel 12, Fig. 1. Cuando q está a una distancia r_1 de Q, la fuerza eléctrica F_1 sobre q está dada por la ecuación: $F_1 =$ .....

* * * * *

$$\frac{kQq}{r_1^2}$$

11. Panel 12, Fig. 1. *Por definición,* el campo eléctrico E_1, a una distancia r_1 de q, está dado por la ecuación: $E_1 =$ ....

* * * * *

$$\frac{F_1}{q}$$

12. Panel 12, Fig. 1. (1) $F_1 = \dfrac{kQq}{r_1^2}$. Dividiendo ambos miembros de (1) entre q, tenemos que: $E_1 = \dfrac{F_1}{q} =$ .....

* * * * *

$$k\frac{Q}{r_1^2}$$

13. Panel 12, Fig. 1. Ahora tenemos una ecuación que nos permite calcular el ..... en cualquier punto, alrededor de una carga ..... Q, si sabemos Q y la ..... entre Q y el punto examinado.

* * * * *

campo eléctrico; puntual; distancia

14. Panel 12, Fig. 1. En función de Q y r_3, $E_3 =$ .....

* * * * *

$$k\frac{Q}{r_3^2}$$

15. Panel 12, Fig. 1. Sea $Q = 4 \times 10^6$ ce, y $r_2 = 0.50$ metro. Entonces: $E_2 =$ ..... *(número y unidades). (¡Piense!* ¿Qué valor de k debe usted usar aquí?)

* * * * *

$$E_2 = k\frac{Q}{r_2^2} = \left(2.3 \times 10^{-28}\,\frac{\text{newton-m}^2}{(\text{ce})^2}\right)\left(\frac{4 \times 10^6\,\text{ce}}{(0.50\,\text{m})^2}\right)$$

$$= 3.68 \times 10^{-21}\ \text{newton/ce}$$

16. $E = k\frac{Q}{r^2}$. En general, ésta es la ecuación que usamos para calcular la magnitud de ..... alrededor de una carga puntual (Q/q). Note que el valor de E (aumenta/disminuye) al alejarse de Q el punto en el cual estamos midiéndolo. Esto se debe a que la ley de Coulomb de la fuerza eléctrica es una ley de .....
.....

* * * * *

campo eléctrico; Q; disminuye; cuadrado inverso

17. Por convención, suponemos que la carga de prueba q en un campo eléctrico, siempre es positiva. Esto significa que la carga Q de la Fig. 1 debe ser (positiva/negativa), porque las flechas indican que q está siendo (atraída/repelida) por Q.

* * * * *

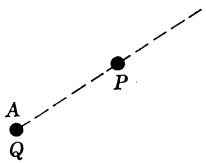
positiva; repelida

18. Panel 12. La dirección de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales siempre es la de la línea que une sus centros. En la Fig. 1, la fuerza eléctrica está dirigida hacia (adentro/afuera), a lo largo de esta línea.

* * * * *

afuera

19. En la figura de este cuadro, Q está cargada negativamente. El campo eléctrico en P está dirigido hacia (adentro/afuera) a lo largo de AP.



* * * * *

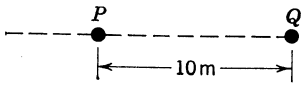
adentro

20. $E = k\frac{Q}{r^2}$. La dirección de $\vec{E}$ es hacia Q, si Q es (positiva/negativa). La dirección de $\vec{E}$ es alejándose de Q, si Q es (positiva/negativa). Esto se debe a que, por convención, la carga de prueba q (siempre/a veces/nunca) es positiva.

* * * * *

negativa; positiva; siempre

21. En la figura de este cuadro, Q tiene una carga de -6×10^{-8} cu-



lombio. Calcule la magnitud del campo eléctrico en P y explique el significado del signo de su respuesta. *(¡Piense!* ¿Qué valor de k usaría usted aquí?)

* * * * *

$$E = k\frac{Q}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-6 \times 10^{-8})}{(0.10)^2}$$

$$= -54 \times 10^3 \text{ newton/culombio}$$

$$= -5.4 \times 10^4 \text{ newton/culombio}$$

El signo $(-)$ indica que la dirección del campo eléctrico es *hacia* Q.

22. Panel 12. Vea la Fig. 2. En ella hay dos cargas puntuales, Q_1 y Q_2. Estamos interesados en su campo combinado en P. $\vec{E}_1$ es el campo de Q_1 en P. Basándose en la figura usted puede determinar los signos de las cargas de Q_1 y Q_2. ¿Cuáles son?

* * * * *

Q_1 es negativa, porque la dirección de su campo es hacia ella. Q_2 es positiva, porque la dirección de su campo es alejándose de ella.

23. Panel 12, Fig. 2. $\vec{E}$ es la suma vectorial de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$. Una carga de prueba puesta en P se movería (hacia Q_1/hacia Q_2/a lo largo de $\vec{E}$).

* * * * *

a lo largo de $\vec{E}$

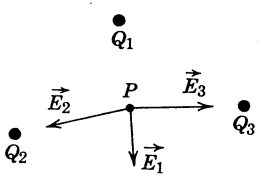
24. El campo eléctrico debido a diversas cargas puntuales es la .... de los campos debidos a cada una de las cargas.

* * * * *

suma vectorial

25. Escriba una ecuación para el campo eléctrico E combinado de Q_1, Q_2 y Q_3 en el punto P.

* * * * *



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

26. Panel 12. La Fig. 3 representa una combinación de campos muy interesante y común llamada dipolo eléctrico. En la figura, $\vec{E}_1$ es el campo producido en P por la carga $(Q/-Q)$, y $\vec{E}_2$ es el campo en P debido a la carga $(Q/-Q)$.

* * * * *

Q; $-Q$

27. Panel 12, Fig. 3. $\vec{E}_3$ es la ..... de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$. Una carga de prueba puesta en P sería sometida a una fuerza eléctrica en la dirección de $(\vec{E}_1/\vec{E}_2/\vec{E}_3)$.

* * * * *

suma vectorial; $\vec{E}_3$

28. Panel 12, Fig. 3. Por geometría podemos demostrar que los triángulos I y II son semejantes. Esto significa que: $\frac{E_1}{r} = \frac{E_3}{?}$

* * * * *

L

29. Panel 12, Fig. 3. (1) $\frac{E_1}{r} = \frac{E_3}{L}$. (2) Despejando E_3 en la ecuación (1): $E_3 =$ .....

$\frac{LE_1}{r}$

30. Panel 12, Fig. 3. (1) $E_3 = \frac{LE_1}{r}$. (2) En función de r y Q, $E_1 =$ ..... (3) Sustituyendo E_1 de (1) con el miembro derecho de (2), tenemos que $E_3 =$ .....

* * * * *

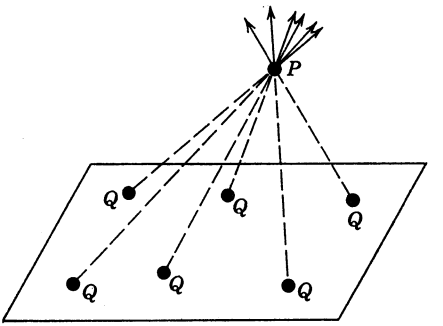
$E_1 = k\frac{Q}{r^2}$; $E_3 = \frac{LE_1}{r} = \frac{L(kQ/r^2)}{r} = k\frac{LQ}{r^3}$

31. El campo eléctrico debido a un dipolo eléctrico es (directamente/inversamente) proporcional (al cuadrado/al cubo/a la primera potencia) de la distancia.

* * * * *

inversamente; al cubo

32.



Esta es una placa grande, cargada positivamente. Podemos suponer que su carga está distribuida entre un gran número de cargas "puntuales" iguales (aquí solamente se han mostrado algunas), cada una de las cuales tiene un campo de P, que puede calcularse por la ecuación $E =$ ..... El campo en P debido a la carga total de la placa es la ..... de todos los campos debidos a estas cargas .....

* * * * *

$k\frac{Q}{r^2}$; suma vectorial; puntuales

Sección 2. Campos eléctricos (continuación)
Campo eléctrico alrededor de una esfera conductora cargada
Campo eléctrico dentro de una esfera conductora cargada
Campo eléctrico entre dos grandes placas paralelas con cargas iguales, pero opuestas

Nota: Ahora fijaremos nuestra atención en los campos eléctricos asociados con cargas eléctricas que de hecho no están concentradas en un solo punto. Ejemplos de ello son los campos eléctricos asociados con cargas en dos o más puntos del espacio, cargas sobre superficies de esferas, de cilindros, de grandes placas, etcétera.

1. Vea el Panel 13. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

T

2. Panel 13. Vea la Fig. 1. Es una sección transversal de una esfera de material conductor. Cuando a tal figura se le da una carga eléctrica, la carga *(a)* permanece en un lugar de la esfera, *(b)* se extiende uniformemente a toda su superficie. Explique su respuesta.

* * * * *

(b) (Porque la esfera está hecha de material *conductor.)*

3. Panel 13, Fig. 1. Puesto que la carga se distribuye uniformemente en la esfera (hay/no hay) razón para creer que el campo alrededor de ella es más fuerte en una dirección que en otra. Si los puntos P y T son equidistantes del centro de la esfera, debemos suponer que las magnitudes del campo eléctrico (son/no son) iguales en P y en T.

* * * * *

no hay; son

4. Panel 13, Fig. 1. Si S está más cerca del centro de la esfera que P o T, debemos suponer que la magnitud del campo en S es (menor que/mayor que/igual a) la magnitud del campo en P o en T.

* * * * *

mayor que

5. Panel 13, Fig. 1. Los últimos cuadros sugieren que el campo alrededor de una esfera cargada es (semejante/diferente) al campo que existe alrededor de una carga "puntual".

* * * * *

similar

6. Las sugerencias hechas en los últimos cuadros han sido verificadas con experimentos; por tanto, sabemos que el campo alrededor de una esfera cargada puede tratarse matemáticamente en la misma forma que el campo alrededor de una carga puntual. En la Fig. 1 del Panel 13, el campo eléctrico en P es $E = k\frac{Q}{r^2}$, donde r representa (el radio de la esfera/la distancia entre P y el centro de la esfera).

* * * * *

la distancia entre P y el centro de la esfera

7. En nuestro estudio de mecánica (parte I de *Física programada),* supusimos que la masa de una esfera está concentrada en un punto geométrico llamado su centro de masa; en forma similar consideraremos

que la ..... en una esfera cargada, está concentrada en el ..... de la esfera.

* * * * *

carga; centro

8. Panel 13. Esta es una simplificación conveniente, pero tiene una limitación importante. Suponga que la esfera de la Fig. 1 es *hueca.* La teoría sugiere que en cualquier punto *dentro* de la esfera, la suma vectorial de los campos debidos a todas las cargas puntuales en la superficie de la esfera, es cero. Esto está comprobado con experimentos. En la Fig. 1, sea $R = 10$ cm. La magnitud del campo eléctrico en un punto a 8 cm del centro de la esfera es .....

* * * * *

cero

9. Panel 13, Fig. 1. Sean $R = 10$ cm y $Q = 4 \times 10^{-7}$ culombio. Calcule la magnitud del campo eléctrico en un punto a 25 cm del centro de la esfera.

* * * * *

$$E = k\frac{Q}{r^2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(4 \times 10^{-7})}{(0.25)^2} = 5.8 \times 10^4 \text{ newtons/culombio}$$

10. Panel 13, Fig. 1. Sean $R = 10$ cm y $Q = 4 \times 10^{-7}$ culombio. Calcule el campo eléctrico en un punto a 2 cm del centro de la esfera.

* * * * *

El punto especificado está dentro de la esfera. El campo es *cero* en cualquier punto dentro de una esfera hueca de material conductor cargada.

11. Una forma conveniente de representar el campo eléctrico alrededor de un conductor cargado es dibujar cierto número de *líneas de campo eléctrico* (llamadas a menudo líneas de fuerza). Trazamos tales líneas moviendo un punto continuamente en la dirección en que se movería una carga de prueba bajo la influencia del campo bajo consideración. Veamos el Panel 13, Fig. 2. Considerando que Q es una carga puntual *positiva,* ¿qué línea $(a/b/c/d)$ es una línea de campo eléctrico que parte de Q?

* * * * *

(b)

12. Panel 13, Fig. 2. Suponiendo que Q es una carga puntual *negativa,* ¿qué línea $(a/b/c/d)$ es una línea de campo eléctrico que parte de Q?

* * * * *

(d)

13. Panel 13. Vea la Fig. 3. Las líneas hacia afuera de la esfera cargada se llaman líneas de ..... Representan algunas de las trayectorias que seguirían las cargas de ..... bajo la influencia del campo eléctrico alrededor de la esfera.

* * * * *

campo eléctrico; prueba

14. Panel 13, Fig. 3. Note que (hay/no hay) líneas de campo eléctrico dentro de la esfera. Esto se debe a que el campo eléctrico dentro de una esfera hueca cargada es .....

* * * * *

no hay; cero

15. Panel 13, Fig. 3. La dirección de las líneas de campo eléctrico de esta figura indican que la carga de la esfera es (positiva/negativa).

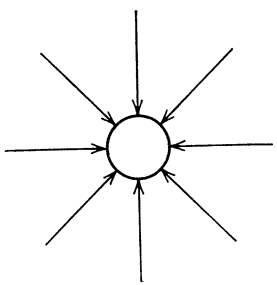
* * * * *

positiva

16.

Esta esfera hueca está cargada *negativamente*. Dibuje las líneas de campo eléctrico alrededor de ella.

* * * * *



Las flechas deben apuntar hacia el centro de la esfera, pero ninguna debe entrar en ella.

17. Panel 13, Fig. 3. Podría dibujarse un número infinitamente grande de líneas de campo eléctrico. Sin embargo, solamente dibujaremos las suficientes para ilustrar el campo. Las líneas de campo eléctrico, y el campo eléctrico (son/no son) idénticos.

* * * * *

no son

18. Panel 13. Frecuentemente usamos las líneas de campo eléctrico para representar la *densidad* relativa o intensidad del campo en distintos puntos. A mayor número de líneas de campo que pasen por una área unitaria, mayor intensidad del campo en cualquier punto dentro del área. En la Fig. 4, sea N = número de líneas de campo saliendo de Q. El número de líneas de campo que pasan a través del área de una superficie esférica imaginaria con radio r es (N/mayor que N/menor que N).

* * * * *

N (porque cada línea de campo eléctrico que sale de Q debe pasar a través de la superficie de cualquier esfera que tenga a Q en su centro).

19. Panel 13, Fig. 4. El número de líneas de campo que pasan a través de la superficie de una esfera imaginaria de radio r_2 es (N/mayor que N/menor que N). El área de una esfera es $L = 4\pi r^2$. La densidad de campo en cualquier punto a una distancia r_1 de Q es $\frac{N}{L_1} =$ ..... *(en función de* N y r_1).

* * * * *

$N; \frac{N}{4\pi r_1^2}$

20. Panel 13, Fig. 4. La densidad de campo en cualquier punto a una distancia r_2 de Q es ..... *(en función de* N y r_2).

* * * * *

$\frac{N}{4\pi r_2^2}$

21. Panel 13, Fig. 4 Puesto que r_2 (=/>/<) r_1, $\frac{N}{4\pi r_2^2}$ (=/>/<) $\frac{N}{4\pi r_1^2}$

* * * * *

$>; <$

22. Panel 13, Fig. 4. La densidad de campo en P_2 debida a Q, es (igual a/mayor que/menor que) la densidad de campo en P_1.

* * * * *

menor que

23. Panel 13, Fig. 4 Podríamos haber llegado a esta conclusión, observando que las líneas de campo eléctrico están (más/menos) separadas entre sí a la distancia r_1 que a la distancia r_2.

* * * * *

menos

24. En general, cuando las líneas de campo eléctrico están apiñadas, el campo es (más fuerte/más débil) que cuando están separadas entre sí.

* * * * *

más fuerte

25. Vea el Panel 14. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

Y

26. Panel 14. Examine la Fig. 1. Esta es una fotografía de la forma que toma el campo eléctrico cuando se sumergen dos varillas con cargas (positivas iguales/negativas iguales/iguales y opuestas) en un líquido aislante que contiene semillas de pasto.

* * * * *

iguales y opuestas

27. Panel 14. La Fig. 2 es un esquema que representa las líneas de campo del campo eléctrico descrito en la Fig. 1. Observe que las líneas de campo se originan en la carga (positiva/negativa) y terminan en la carga (positiva/negativa).

* * * * *

positiva; negativa

28. Panel 14. La figura 2 nos muestra que la fuerza del campo en *a* es (aproximadamente igual a/mayor que/menor que) la fuerza del campo en *b*. También muestra que la fuerza del campo en *c* es (aproximadamente igual a/mayor que/menor que) la fuerza del campo en *a*, porque las líneas están (más/menos) apiñadas en *c*.

* * * * *

aproximadamente igual a; menor que; menos

29. Vea el Panel 15. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

K

30. Panel 15. Lea la descripción de la Fig. 1*(b)*. La Fig. 1*(a)* es un esquema que representa las líneas de campo de la Fig. 1*(b)*. El campo en el punto *P*, que está exactamente entre las dos cargas, es .....

* * * * *

cero

31. Panel 15. La Fig. 2 es una fotografía de la forma que toma el campo producido por un cilindro cargado. Note que (hay/no hay) campo eléctrico *dentro* del cilindro.

* * * * *

no hay

32. Panel 15. La Fig. 3 es un conductor de forma irregular (en contraste con la esfera o el cilindro). Note la disposición de las semillas de pasto dentro y fuera de su frontera. (Hay/no hay) campo fuera del conductor; (hay/no hay) campo dentro del conductor.

* * * * *

hay; no hay

33. Panel 15. Vea la Fig. 4*(b)*. Las placas sumergidas en la mezcla de semillas en un líquido aislante están ..... entre sí y tienen cargas ..... y .....

* * * * *

paralelas; *en cualquier orden:* iguales, opuestas

34. Panel 15, Fig. 4*(b)*. La fotografía muestra que (hay/no hay) campo eléctrico entre las placas, y que (hay/no hay) campo fuera de ellas.

* * * * *

hay; no hay

35. Panel 15. En la Fig. 4*(b)* están dibujadas las líneas de campo eléctrico correspondientes a la clase de campo mostrado en la Fig. 4*(b)*. Una carga de prueba puesta entre estas placas se movería de la placa (positiva/negativa) a la placa (positiva/negativa).

* * * * *

positiva; negativa

36. Panel 15, Fig. 4*(a)*. Excepto en los extremos de las placas (pasando de los puntos *A* y *B* de la figura), las líneas de campo entre ellas (siempre/a veces/nunca) son perpendiculares a las placas, y están espaciadas (uniformemente/no uniformemente).

* * * * *

siempre; uniformemente

37. Panel 15, Fig. 4*(a)*. El campo eléctrico en cualquier punto entre las placas y dentro de los límites marcados por *A* y *B* es (constante/varia-

ble) en magnitud y dirección. Llamamos *uniforme* a esta clase de campo. El campo alrededor de una carga puntual (es/no es) uniforme.

* * * * *

constante; no es

38. Panel 15, Fig. 4*(a)*. Examine las líneas de campo cercanas a los extremos de las placas (es decir, más allá de los puntos *A* y *B*). Son (rectas/curvas) lo que indica que la dirección del campo cercano a los extremos, es (constante/variable). El campo eléctrico cercano a los extremos de estas placas (es/no es) uniforme.

* * * * *

curva; variable; no es

39. Panel 15, Fig. 4*(a)*. Cerca a los extremos de las placas las líneas de campo están (más/menos) separadas entre sí, que dentro de la zona entre *A* y *B*. Esto significa que en los extremos la magnitud del campo es (mayor/menor) que entre los puntos *A* y *B*.

* * * * *

más; menor

40. Se dice que el campo eléctrico entre dos placas paralelas con cargas iguales y opuestas es ..... excepto en la cercanía de los extremos de las placas. Esto significa que la fuerza eléctrica sobre una carga de prueba colocada entre las placas, es (constante/variable) en magnitud y dirección, mientras la carga no se acerque a los ..... de las placas.

* * * * *

uniforme; constante; extremos

41. Panel 15. El campo eléctrico mostrado en la Fig. 4 es importante en física; nos proporciona un dispositivo en el que las partículas cargadas pueden acelerarse mediante una ..... total constante. Esto nos permite aplicar las leyes de Newton del movimiento a partículas tales como los electrones, que están influenciadas (fuertemente/despreciablemente) por las fuerzas gravitacionales, debido a la pequeñez de sus masas.

* * * * *

fuerza; despreciablemente

42. En puntos que no están demasiado cerca a los extremos, el campo eléctrico producido por dos grandes placas paralelas con cargas iguales

y opuestas es ..... entre las placas, y ..... fuera de ellas.

* * * * *

uniforme; cero

43. Se produce un campo eléctrico uniforme mayor que cero (escoja una o más respuestas): *(a)* entre dos grandes placas paralelas cargadas positivamente; *(b)* entre dos grandes placas paralelas con cargas iguales y opuestas; *(c)* alrededor de una esfera conductora cargada; *(d)* entre dos cargas puntuales iguales y opuestas.

* * * * *

(b)

Sección 3. Energía potencial eléctrica

Campos de cargas puntuales: $V_e = k\dfrac{Qq}{r}$

Campos de placas paralelas cargadas: $V_e = EqD$

Nota: El trabajo y la energía son conceptos importantes en todas las ramas de la física. Cuando estudiamos mecánica vimos cómo se realiza un trabajo, por y contra el campo *gravitacional* y cómo se puede acumular la energía (energía potencial) en el campo gravitacional. En esta sección aplicaremos los conceptos de trabajo y energía al campo eléctrico y desarrollaremos la noción de energía (energía potencial eléctrica) acumulada en un campo eléctrico.

1. Hemos visto que hay una definida similitud entre las ecuaciones matemáticas que describen fuerzas gravitacionales y las que describen fuerzas eléctricas.

$F_g =$ ..... *(en función de M, m y r).*

$F_e =$ ..... *(en función de Q, q y r).*

* * * * *

$G\dfrac{Mm}{r^2}$; $k\dfrac{Qq}{r^2}$

2. Podemos llevar aún más allá esta identidad en estructura matemática; sea g una cantidad llamada campo gravitacional, definida como fuerza gravitacional dividida entre la masa afectada. Entonces:

$g = \frac{F_g}{m} =$ ..... *(en función de M, G y r)* en la misma forma que el campo eléctrico $E = \frac{F_e}{q} =$ ..... *(en función de Q, k y r).*

* * * * *

$G\frac{M}{r^2}$; $k\frac{Q}{r^2}$

3. Encontramos que la energía potencial gravitacional de m en el campo gravitacional de masa M fue dada por la ecuación $U_g = -G\frac{Mm}{r}$, donde el signo menos indica que la fuerza gravitacional es de (atracción/repulsión), y por lo tanto debe realizarse un trabajo para mover a m hasta una separación infinita (es decir, fuera de la influencia del campo gravitacional). Escogimos $r =$ ..... como nivel de referencia para la energía potencial gravitacional.

* * * * *

atracción; infinito ó ∞

4. Análogamente, en el campo eléctrico producido por la carga Q, donde la fuerza eléctrica es de atracción, la energía potencial *eléctrica* de una carga puntual q es: $U_e =$ .....

* * * * *

$-\frac{kQq}{r}$

5. $U_e = k\frac{Qq}{r}$. Esta es una ecuación para la energía .... de q debida a su presencia en el campo eléctrico de Q. Si Q y q tienen cargas opuestas, su producto es (positivo/negativo) y el valor de U_e es (positivo/negativo).

* * * * *

potencial eléctrica; negativo; negativo

6. $U_e = k\frac{Qq}{r}$. Si tanto Q como q son positivas (o ambas negativas), el producto Qq es (positivo/negativo) y el valor de la energía potencial eléctrica es (positivo/negativo).

* * * * *

positivo; positivo.

7. $U_g = -G\dfrac{Mm}{r}$; $U_e = k\dfrac{Qq}{r}$.

En nuestra ecuación para la energía potencial eléctrica se ha omitido el signo menos porque las fuerzas eléctricas, a diferencia de las gravitacionales, pueden ..... así como ..... El valor de U_e es positivo *o* negativo, dependiendo del signo del producto .....
.....

* * * * *

repelerse; atraerse; Qq (de las cargas)

8. En un átomo de hidrógeno, un electrón está aproximadamente a 0.5×10^{-10} metro del protón del átomo. Calcule su energía potencial eléctrica en julios.

$$U_e = k\frac{Qq}{r} = 2.3 \times 10^{-28}\,\frac{\text{newton-m}^2}{(\text{ce})^2}\,\frac{(-1e)(+1e)}{0.5\text{ m}}$$
$$= -4.6 \times 10^{-28}\text{ newton-metro}$$
$$= -4.6 \times 10^{-28}\text{ julio}$$

9. El signo menos del problema anterior indica que si el electrón es movido hasta una separación infinita, se ha realizado un trabajo (en el sentido del campo/contra el campo).

* * * * *

contra el campo

10. Una carga $q_1 = 6 \times 10^{-8}$ culombio está a 10 metros de una carga $q_2 = 5 \times 10^{-5}$ culombio. Calcule la energía potencial eléctrica de q_1 en este campo.

* * * * *

$$U_e = k\frac{q_1 q_2}{r}$$
$$= 9.0 \times 10^9\,\frac{\text{newton-m}^2}{\text{culombio}^2}\,\frac{(6 \times 10^{-8}\text{ culombio})(5 \times 10^{-5}\text{ culombio})}{10\text{ m}}$$
$$= 27 \times 10^{-4}\text{ julio}$$

11. En el problema anterior, el valor positivo de U_e significa que el campo eléctrico ha realizado un trabajo si q_1 se mueve hasta una separación .....

* * * * *

infinita

12. En el núcleo de un átomo de helio hay dos protones separados por una distancia de 1.5×10^{-15} m. La energía potencial eléctrica de un protón en el campo del otro, es una medida del ..... requerido para unir estos protones desde una .....

* * * * *

trabajo; separación infinita

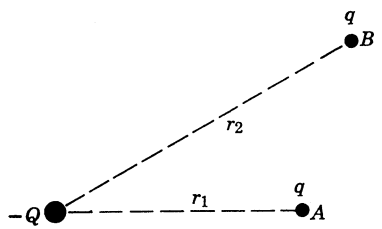
13. Calcule el trabajo requerido para acercar entre sí dos protones a una distancia de 1.5×10^{-15}, desde una separación infinita.

$$\text{Trabajo} = U_e = k\frac{q_1 q_1}{r^2}$$

$$= 2.3 \times 10^{-28}\frac{(1)}{(1.5 \times 10^{-15})}$$

$$= 1.53 \times 10^{-13} \text{ julio}$$

14.

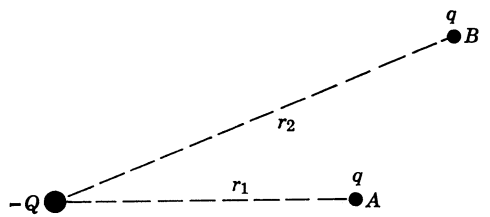


$-Q$ y q son cargas puntuales. El trabajo requerido para mover a q desde A hasta B es igual al ..... en la ..... eléctrica de q.

* * * * *

cambio; energía potencial

15.



Sea U_a la energía potencial eléctrica de q en el punto A, y U_b la energía potencial eléctrica de q en el punto B. El trabajo realizado al moverse q de A a B, es $W =$ ..... en función de U_a y U_b.

* * * * *

$U_b - U_a$

16. Refirámonos al cuadro anterior:

En función de $-Q$, q y r_1, $U_a =$ .....
En función de $-Q$, q y r_2, $U_b =$ .....
En función de $-Q$, q, r_1 y r_2, $W =$ .....
(Simplemente por factorización.)

* * * * *

$$U_a = -k\frac{Qq}{r_1}$$

$$U_b = -k\frac{Qq}{r_2}$$

$$W = U_b - U_a = \left(-k\frac{Qq}{r_2}\right) - \left(-k\frac{Qq}{r_1}\right)$$

$$= kQq\left(-\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_1}\right)$$

$$= kQq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

17. Si una masa m está en libertad de movimiento en el campo gravitacional de la Tierra, se (acercará al/alejará del) centro de la Tierra. Una masa en movimiento en un campo gravitacional, buscará una posición de (mayor/menor) energía potencial gravitacional.

* * * * *

acercará al; menor

18. Q es una carga puntual de -5×10^{-6} culombio. q es una carga puntual de 2×10^{-6} culombio. Si están a 10 metros una de la otra, la energía potencial eléctrica $U =$ .... $\times 10^{-3}$ julio. Si q está en libertad de moverse en este campo eléctrico, se (alejará de/acercará a) Q.

* * * * *

$$U = k\frac{Qq}{r} = 9.0 \times 10^9 \frac{(-5 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{10}$$

$$= -9.0 \times 10^{-3} \text{ julio}$$

acercará a (porque Q y q tienen cargas opuestas).

19. Suponga que la carga q del cuadro anterior está en libertad de moverse en el campo. Use los datos del cuadro anterior para calcular su energía potencial eléctrica cuando está a 1 metro de Q. $U =$ .... $\times 10^{-3}$ julio. Ahora compare este valor con el calculado para la distancia de 10 m entre ellas. Cuando q está en

libertad de moverse en el campo eléctrico, buscará un estado de (mayor/menor) energía potencial eléctrica.

* * * * *

$$U = k\frac{Qq}{r} = (9.0 \times 10^{9})\,\frac{(-5 \times 10^{-6})\,(2 \times 10^{-6})}{1}$$

$$= -90 \times 10^{-3} \text{ julio}$$

Este es un número menor que -9×10^{-3}. Por lo tanto, q se mueve a un estado de *menor* energía potencial.

20. Q es una carga puntual de 5×10^{-6} culombio y q es otra carga puntual de 2×10^{-6} culombio. A una separación de 1 metro, la energía potencial eléctrica de q es $U =$ ..... $\times 10^{-3}$ julio. Si q tiene libertad de movimiento, se (alejará de/acercará a) Q.

* * * * *

$$U = k\frac{Qq}{r} = \frac{(9.0 \times 10^{9})\,(5 \times 10^{-6})\,(2 \times 10^{-6})}{1}$$

$$= 90 \times 10^{-3} \text{ julio}$$

alejará de (porque Q y q tienen cargas *iguales).*

21. Ahora suponga que q del cuadro anterior está en libertad de moverse. Calcule su energía potencial eléctrica cuando se ha movido hasta una distancia de 10 metros de Q. $U =$ ..... $\times 10^{-3}$ julio. Compare este valor con el calculado para la separación de 1 metro. Cuando q está en libertad de moverse en el campo eléctrico, buscará un estado de (menor/mayor) energía potencial eléctrica.

* * * * *

9×10^{-3}; menor

22. Suponga que Q y q son dos cargas puntuales separadas por una distancia r y constituyen un sistema aislado, puesto que la influencia externa sobre ellas es despreciable. Si Q y q tienen cargas *iguales* y q está en libertad de moverse, se (acercará a/alejará de) Q y la energía potencial eléctrica del sistema (aumentará/disminuirá/permanecerá constante). Si Q y q tienen cargas *opuestas,* q se (acercará a/alejará de) Q y la energía potencial eléctrica del sistema (aumentará/disminuirá/permanecerá igual).

* * * * *

alejará de; disminuirá; acercará a; disminuirá

23. $U_e = k\frac{Qq}{r}$. Hemos estado usando esta ecuación para calcular la

energía potencial eléctrica de q en el campo de Q, cuando tanto Q como q son cargas .....

* * * * *

puntuales

24. Vimos que podíamos considerar el campo alrededor de una esfera conductora hueca cargada como si fuera producido por una carga .... situada en el ..... de la esfera.

* * * * *

puntual; centro

25. Suponga que q es una carga puntual situada en un punto fuera de una esfera conductora hueca con una carga Q. Basándonos en nuestra experiencia con el campo eléctrico alrededor de tal carga, podemos usar la ecuación $U_e =$ ..... para la energía potencial eléctrica de q, donde r = distancia entre q y el ..... de la esfera.

* * * * *

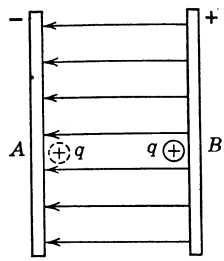
$k\dfrac{Qq}{r}$; centro

26. Suponga que una carga puntual q es puesta cerca del centro de la placa positiva del Panel 15, Fig. 4*(a)*. ¿Usaría usted la ecuación $U_e = k\dfrac{Qq}{r}$ para medir su energía potencial eléctrica en ese campo? (sí/no). *Explique.*

* * * * *

No, no se debe usar, porque Q, en la Fig. 4*(a)* Panel 15, *no se puede* considerar como una sola carga puntual.

27.



En esta figura, sabremos la energía potencial eléctrica de q en B, si calculamos el ..... requerido para mover a q de A a B (es decir, a lo largo del campo).

* * * * *

trabajo

28. Veamos la figura del cuadro anterior. Hemos visto que el campo eléctrico E que existe en el espacio que hay entre estas placas, es (uniforme/variable), excepto en los extremos de ellas. Esto significa que la fuerza necesaria para empujar a q a una velocidad constante, en contra del campo, *(a)* es constante de A a B; *(b)* aumenta conforme la movemos de A a B; *(c)* disminuye conforme la movemos de A a B.

* * * * *

uniforme; *(a)*

29. En la figura del cuadro 27. Sea E el campo eléctrico entre las placas y F la fuerza eléctrica sobre la carga q. Por definición, $E =$ .... (en función de F y q).

* * * * *

$\frac{F}{q}$

30. Vea la figura del cuadro 27: $E = \frac{F}{q}$. Despejando F: F = ...

* * * * *

Eq

31. Vea la figura del marco 27. El trabajo requerido para empujar a q de A a B con velocidad constante, es el producto de Eq veces la .... entre A y B.

* * * * *

distancia

32. En la figura del cuadro 27: Sea d = distancia entre A y B. El trabajo requerido para mover a q de A a B a velocidad constante, es: $W =$ ..... (en función de E, q y d).

* * * * *

Eqd

33. Vea la figura del cuadro 27. La energía potencial eléctrica de q en B en el campo, está dada por la ecuación $U =$ .....

* * * * *

Eqd

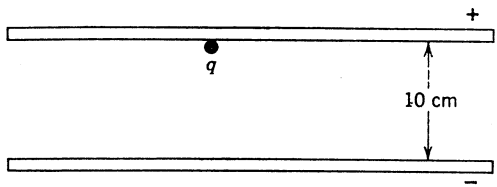
34. $U = Eqd$. En este texto mediremos generalmente a U en *julios*. Esto requiere que d se mida en metros; entonces, si $d = 3$ cm, deberá convertirse a $d =$ .... metro. Si E se mide en newtons/culombio, q debe me-

dirse en (o convertirse a) ..... Si E se mide en newtons/carga elemental, q debe medirse en (o convertirse a) .....

* * * * *

0.03; culombios; carga elemental

35.

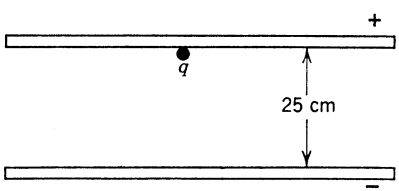


La magnitud del campo eléctrico entre estas placas es de 3×10^2 newtons/culombio. q tiene una carga de 3×10^{-8} culombio. Calcule la energía potencial eléctrica de q en B.

* * * * *

$U = Eqd = (3 \times 10^2 \text{ newton/cul})(3 \times 10^{-8} \text{ cul})(0.1 \text{ m})$
$= 9 \times 10^{-7}$ julio

36.



$E = 4 \times 10^3$ newton/cul

$q = 5 \times 10^3$ ce

$= \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ cul

$U = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ julio

* * * * *

$q = (5 \times 10^3)(1.6 \times 10^{-19})$
$= 8.0 \times 10^{-16}$ culombio

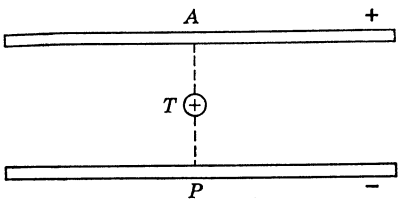
$U = (4 \times 10^3)(8.0 \times 10^{-16})(0.25)$
$= 8.0 \times 10^{-13}$ julio

37. A menos que se especifique lo contrario, suponemos que la energía potencial de q entre las placas se medirá respecto a la placa de carga *opuesta* a la carga de q. Si q es positiva, mediremos su energía potencial respecto a la placa (positiva/negativa).

* * * * *

negativa

38.

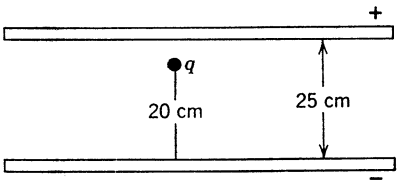


La energía potencial eléctrica de q en T es el trabajo requerido para empujarla de (T a A/P a T/P a A). $U = Eqd$. En esta figura, $d = (TA/TP/AP)$.

* * * * *

P a T; TP

39.



$E = 2 \times 10^{-10}$ newton/carga elemental

$q = 3 \times 10^{5}$ cargas elementales

$d =$ ..... m

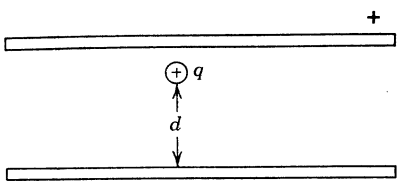
$U =$ ..... julio

* * * * *

$d = 0.20$ m

$U = (2 \times 10^{-10}$ newton/carga elemental$)(3 \times 10^{5}$ carga elemental$)$ $(0.20$ m$) = 1.2 \times 10^{-5}$ julio

40.



Suponga que q tiene libertad de movimiento en este campo. El valor de d (aumenta/disminuye) y q se mueve hacia un estado de (mayor/menor) energía potencial eléctrica.

* * * * *

disminuye; menor

Sección 4. Potencial eléctrico

Definición: $V = \frac{U_e}{q}$

Unidades: Julios/ce; voltios; factores de conversión

El electrón-voltio

Cálculo del potencial eléctrico debido a cargas puntuales: $V = k\frac{Q}{r}$

Cálculo del potencial eléctrico que hay en un campo entre placas paralelas: $V = Ed$

Potencial eléctrico en un punto, debido a un grupo de cargas puntuales

1. Sea una fuerza eléctrica total $\vec{F}$ obrando sobre una carga de prueba q, que tiene una energía potencial eléctrica U_e. Empleamos la razón $\vec{F}/q$ para definir una cantidad física llamada .... Ahora usaremos la razón de la energía potencial eléctrica de q a la carga q para definir otra cantidad física llamada *potencial eléctrico (V)*. Entonces: $V =$ .... *(en símbolos)*.

* * * * *

intensidad del campo eléctrico: $\frac{U_e}{q}$

2. $V = \frac{U_e}{q}$. Esta ecuación define (la magnitud del campo eléctrico/la energía potencial eléctrica/la fuerza eléctrica/el potencial eléctrico).

* * * * *

el potencial eléctrico

3. El potencial eléctrico y la energía potencial eléctrica son (la misma cantidad física/diferentes cantidades físicas). El potencial eléctrico y la intensidad del campo eléctrico son (la misma cantidad física/diferentes cantidades físicas).

* * * * *

diferentes cantidades físicas; diferentes cantidades físicas

4. Por definición, $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$ y $V = \frac{U_e}{q}$. La magnitud del campo eléctrico

es una cantidad (escalar/vectorial). El potencial eléctrico es una cantidad (escalar/vectorial).

* * * * *

vectorial; escalar

5. Como hemos visto, la energía potencial eléctrica (siempre es positiva/puede ser positiva o negativa). El potencial eléctrico (siempre es positivo/puede ser positivo o negativo).

puede ser positiva o negativa; puede ser positivo o negativo (porque su cálculo implica a U_e, que puede ser positiva o negativa).

6. Cuando combinamos cantidades con signo (es decir, con signo negativo o positivo), sumamos escalarmente. Cuando combinamos cantidades vectoriales, sumamos vectorialmente. ¿Cómo combinamos potenciales eléctricos?

* * * * *

escalarmente

7. Una carga de prueba: $q = 5 \times 10^2$ cargas elementales. Su energía potencial eléctrica es 1.5×10^{-5} julio. Su potencial eléctrico $V =$ .... *(número y unidades).*

* * * * *

$$V = \frac{U_e}{q} = \frac{1.5 \times 10^{-5} \text{ julio}}{5 \times 10^2 \text{ cargas elementales}} = 0.3 \times 10^{-7} \text{ julios/cargas elementales.}$$

8. Cuando U_e se mide en julios y q en cargas elementales, el potencial eléctrico se mide en .....

* * * * *

julios/ce

9. Una carga de prueba $q = 5 \times 10^{-6}$ culombio tiene una energía potencial eléctrica de 4.0×10^{-4} julio. Calcule su potencial eléctrico V. $V =$ ..... *(número y unidades).*

* * * * *

$$V = \frac{4.0 \times 10^{-4} \text{ julio}}{5 \times 10^{-6} \text{ cul.}} = 0.8 \times 10^2 \text{ julios/culombio} =$$

$$= 80 \text{ julios/culombio}$$

10. En la física aparece con mucha frecuencia la unidad julio/culombio, y se le da el nombre de *voltio*. El voltio es una unidad empleada para medir (campo eléctrico/potencial eléctrico/carga eléctrica/fuerza eléctrica).

* * * * *

potencial eléctrico

11. La suma de 10 voltios y -15 voltios es ..... voltios.

* * * * *

-5 voltios

12. 1 voltio $=$ 1 julio/1 culombio.

Sabemos que 1 culombio $= 6.25 \times 10^{18}$ ce

$$1 \text{ voltio} = \frac{1 \text{ julio}}{6.25 \times 10^{18} \text{ ce}}$$

$=$ ..... *(dos cifras)* julios/ce

* * * * *

1.6×10^{-19}

13. Una carga de prueba de 6×10^{-8} culombio tiene una energía potencial eléctrica de 3×10^{-5} julios.

$V =$ ..... voltios

$V =$ ..... julios/ce

* * * * *

$$V = \frac{U_e}{q} = \frac{3 \times 10^{-5} \text{ julio}}{6 \times 10^{-8} \text{ culombio}} = 0.5 \times 10^{3} \text{ voltios} = 500 \text{ voltios}$$

$$V = (500)(1.6 \times 10^{-19}) = 8.0 \times 10^{-17} \text{ julios/ce}$$

14. (1) $1 \text{ voltio} = \dfrac{1 \text{ julio}}{1 \text{ culombio}}$

(2) $1 \text{ voltio} = \dfrac{1 \text{ julio}}{6.25 \times 10^{18} \text{ ce}}$

(3) Multiplicando ambos miembros de (2) por $(6.25 \times 10^{18}$ ce) obtenemos:

1 julio$=$ ..... *(número y unidades).*

* * * * *

6.25×10^{18} (ce) (voltios)

15. Al producto (ce)(voltio) lo llamamos *electrón-voltio.* 1 julio = ... electrón-voltios. El electrón-voltio es una medida de (campo eléctrico/potencial eléctrico/energía).

* * * * *

6.25×10^{18}; energía

16. Vea el Panel 16. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

G

17. Panel 16. Vea la Fig. 1. Q es una carga puntual que puede ser positiva o negativa. q es una carga de prueba que, por convención, siempre es (positiva/negativa). La energía potencial eléctrica de q en el punto A está dada por la ecuación $U =$ .....

* * * * *

positiva; $k\dfrac{Qq}{r_1}$

18. Panel 16, Fig. 1.

(1) En A, $U = k\dfrac{Qq}{r_1}$

(2) Por definición, $V = \dfrac{U}{q}$

(3) Entonces, en A, $V =$ ..... *(en función de* Q, r_1, etc.).

* * * * *

$V = \dfrac{U}{q} = k\dfrac{Q}{r_1}$

19. Panel 16, Fig. 1. El potencial eléctrico en B está dado por la ecuación: $V =$ .....

* * * * *

$k\dfrac{Q}{r_2}$

20. En general, el potencial eléctrico en cualquier punto alrededor de una carga puntual Q aislada está dado por la ecuación: $V = k\dfrac{Q}{r}$. Observe que el potencial eléctrico en un punto (depende/no depende) de la

carga puesta *en ese punto.* También note que V puede ser positivo o negativo, dependiendo de que .... sea positiva o negativa.

* * * * *

no depende; Q

21. Panel 16, Fig. 1. Sea $Q = -5 \times 10^{-8}$ culombio, $r_1 = 50$ cm y $r_2 = 30$ cm. Calcule el potencial eléctrico en A.

* * * * *

$$V_a = k\frac{Q}{r_1} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-5 \times 10^{-8})}{0.5} = -900 \text{ voltios}$$

22. Panel 16, Fig. 1. Use los datos del marco anterior para calcular el potencial eléctrico en B.

* * * * *

$$V_b = k\frac{Q}{r_2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-5 \times 10^{-8})}{0.3} = -1500 \text{ voltios}$$

23. Panel 16, Fig. 1. Compare los potenciales calculados para los puntos A y B en los cuadros 21 y 22. Recuerde que Q es negativa. Al considerar puntos cada vez más cercanos a Q, el potencial eléctrico (aumenta/disminuye/permanece igual). Una carga positiva libre de moverse en este campo, buscará posiciones de (mayor/menor/el mismo) potencial eléctrico.

* * * * *

disminuye (porque -1500 voltios es menos que -900 voltios); menor

24. Panel 16, Fig. 1. Sea Q cargada negativamente. Ahora, si una carga negativa en libertad de moverse es puesta en el campo de Q, se (acercará a/alejará de) Q; es decir, buscará un (mayor/menor) potencial eléctrico.

* * * * *

alejará de; mayor

25. Panel 16, Fig. 1. Ahora, sea $Q = 5 \times 10^{-8}$ culombio, $r_1 = 50$ cm y $r_2 = 30$ cm. Calcule los potenciales eléctricos en los puntos A y B. Compárelos. Al acercar estos puntos a Q, el potencial eléctrico (aumenta/disminuye).

* * * * *

$$V_a = k\frac{Q}{r_1} = \frac{(9.0 \times 10^9)(5 \times 10^{-8})}{0.5} = 900 \text{ voltios}$$

$$V_b = k\frac{Q}{r_2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(5 \times 10^{-8})}{0.3} = 1500 \text{ voltios}$$

aumenta

26. Panel 16, Fig. 1. Si Q es positiva, una carga *positiva* puesta en su campo en libertad de moverse se (alejará de/acercará a) Q. Es decir, se moverá hacia posiciones de (mayor/menor) potencial.

* * * * *

alejará de; menor

27. Panel 16, Fig. 1. Sea Q cargada positivamente. Una carga *negativa* puesta en su campo y en libertad de moverse, se (acercará a/alejará de) Q. Es decir, se moverá hacia posiciones de (mayor/menor) potencial.

* * * * *

acercará a; mayor

28. Hemos descubierto una característica importante de las cargas y de los campos donde éstas están. Una carga positiva libre de moverse en un campo eléctrico (siempre/a veces/nunca) se mueve a una posición de menor potencial eléctrico. Un electrón libre de moverse en un campo eléctrico (siempre/a veces/nunca) se mueve a una posición de menor potencial eléctrico.

* * * * *

siempre; nunca (porque el electrón está cargado negativamente y por lo tanto se mueve a una posición de mayor potencial).

29. Una carga negativa libre de moverse en un campo eléctrico, buscará posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico.

* * * * *

mayor

30. Es característica de un conductor el que las cargas puestas en él (estén/no estén) en libertad de moverse.

* * * * *

estén

31. Todas las partes de un conductor están al mismo potencial eléctrico, porque todas las cargas *positivas* se moverán hasta encontrar el (mayor/menor) potencial posible, o todas las cargas *negativas* se moverán hasta encontrar el (mayor/menor) potencial posible.

* * * * *

menor; mayor

32. Cuando en un conductor se pone una carga, ésta se mueve hasta que todas las partes del conductor estén (al mismo potencial eléctrico/a diferentes potenciales eléctricos).

* * * * *

al mismo potencial eléctrico

33. El tiempo necesario para que se lleve a cabo esta redistribución de carga es tan pequeño, que para todos los usos prácticas podemos decir que (todos los puntos/ningún punto) de la superficie de un conductor tiene(n) el mismo potencial eléctrico.

* * * * *

todos los puntos

34. Vea la Fig. 2 del Panel 16. La intensidad del campo eléctrico entre estas placas es ..... en todos los puntos que *no* están cerca de los ..... Llamemos E a esta intensidad. La energía potencial eléctrica de una carga q de prueba en el punto A, está dada por la ecuación: $U =$ .....

* * * * *

uniforme (constante); extremos; Eqd_1

35. Panel 16, Fig. 2.

(1) $U = Eqd_1$.

(2) Por definición, $V_a =$ .....

(3) $V_a =$ ..... *(en función de* E, d_1, etc.).

* * * * *

$\frac{U}{q}$; $V_a = \frac{Eqd_1}{q} = Ed_1$

36. Panel 16, Fig. 2. El potencial eléctrico en B es: $V_b =$ ..... d_2 es (mayor/menor) que d_1. V_b es (mayor/menor) que V_a.

* * * * *

Ed_2; menor; menor

37. Panel 16, Fig. 2. Una carga positiva puesta en A o en cualquier punto entre las placas y en libertad de moverse, buscará posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico.

* * * * *

menor

38. Panel 16, Fig. 2. Una carga negativa en la placa negativa, o en cualquier punto entre las placas, y en libertad de moverse en el campo, buscará una posición de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico.

* * * * *

mayor

39. Panel 16, Fig. 2. Si E es el campo entre las placas y d la distancia entre ellas, tenemos una ecuación para el potencial eléctrico de todos los puntos de la placa positiva, que es: $V =$ .....

* * * * *

Ed

40. Panel 16, Fig. 2. Es más fácil medir el potencial eléctrico en puntos de la placa positiva respecto a la placa negativa, que medir el campo entre ellas. Suponga que el voltímetro indica 90 voltios y que la distancia entre las placas es de 0.02 m. Entonces $E =$ ..... *(número y unidades)*.

* * * * *

$V = Ed$

$$E = \frac{V}{d} = \frac{90 \text{ voltios}}{0.02 \text{ metro}} = 4500 \text{ voltios/metro}$$

Las unidades *voltios/metro* equivalen a:
julios/(culombios metro) = *newton metro/culombio metro* = *newton/culombio* que son las unidades que usamos anteriormente para el campo.

41. Panel 16. Vea la Fig. 3*(a)*. Deseamos calcular la magnitud del campo eléctrico y el potencial eléctrico en P. La del campo eléctrico en P es la ..... de los campos producidos en ese punto por Q_1 y Q_2.

* * * * *

suma vectorial

42. Panel 16, Fig. 3*(a)*. Sean $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ los campos eléctricos producidos en P por Q_1 y Q_2 respectivamente.

$\vec{E}_1 =$ ..... newtons/culombio, hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda).

$\vec{E}_2 =$ ..... newtons/culombio, hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda).

* * * * *

$\vec{E}_1 = \dfrac{kQ_1}{r_1^2} = \dfrac{(9.0 \times 10^9)(-1.6 \times 10^{-7})}{(0.40)^2} = \dfrac{(9.0 \times 10^9)(-1.6 \times 10^{-7})}{0.16}$

$= -9.0 \times 10^3$ newtons/culombio. El signo menos indica que el campo está dirigido *hacia* Q_1 es decir, hacia la izquierda.

$\vec{E}_1 = 9.0 \times 10^3$ newtons/culombio hacia la izquierda.

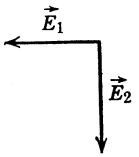
$\vec{E}_2 = \dfrac{kQ_2}{r_2^2} = \dfrac{(9.0 \times 10^9)(1.6 \times 10^{-7})}{(0.30)^2} = 1.6 \times 10^4$ newtons/culombio alejándose de Q_2, es decir, *hacia abajo*.

43. Panel 16, Fig. 3*(b)*. El campo eléctrico en P es $\vec{E} =$ ..... + ...

* * * * *

$\vec{E}_1 + \vec{E}_2$

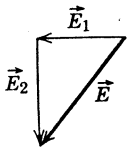
44. Panel 16, Fig. 3*(b)*. El ángulo entre $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ es de ..... grados. Construya la suma vectorial de $\vec{E}_1$ y $\vec{E}_2$ dibujados aquí. Rotúlela $\vec{E}$.



Podemos encontrar la magnitud de $\vec{E}$ usando el teorema de .....

.....

* * * * *

90; 

; Pitágoras.

45. Panel 16, Fig. 3*(b)*.

$E_1 = 9.0 \times 10^3$ newtons/culombio

$E_2 = 16 \times 10^3$ newtons/culombio

$E =$ ..... newtons/culombio

* * * * *

$E^2 = E_1^2 + E_2^2$

$E^2 = (9 \times 10^3)^2 + (16 \times 10^3)^2$

$= (81 \times 10^6) + (256 \times 10^6) = 337 \times 10^6$

$E \approx 18 \times 10^3$ newtons/culombio

46. Panel 16, Fig. 3. Sean V_1 y V_2 los potenciales eléctricos en P debidos a Q_1 y Q_2, respectivamente. El potencial eléctrico total en P debido a Q_1 y Q_2 es la suma (vectorial/escalar) de V_1 y V_2.

* * * * *

escalar (porque el potencial eléctrico es una cantidad escalar, *no* vectorial).

47. Panel 16, Fig. 3.

$V_1 =$ ..... voltios.

$V_2 =$ ..... voltios.

$V =$ ..... voltios.

* * * * *

$$V_1 = \frac{kQ_1}{r_1} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-1.6 \times 10^{-7})}{0.4} = -3.6 \times 10^3 \text{ voltios}$$

$$V_2 = k\frac{Q_2}{r_2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(1.6 \times 10^{-7})}{0.30} = 4.8 \times 10^3 \text{ voltios}$$

$$V = V_2 + V_1 = (4.8 \times 10^3) + (-3.6 \times 10^3) = 1.2 \times 10^3 \text{ voltios}$$

48. El potencial eléctrico se mide en unidades llamadas (julios/culombios/voltios/$\frac{\text{julios}}{\text{ce}}$/ergios/electrón-voltios). *(Escoja cuantos se apliquen.)*

* * * * *

voltios y julios/ce

49. El electrón-voltio es una unidad de (energía/carga/potencial eléctrico/campo eléctrico).

* * * * *

energía

50. Generalmente definimos el potencial eléctrico como la razón de la ..... a la .....

* * * * *

energía potencial eléctrica; carga

51. Una partícula cargada negativamente en libertad de moverse en un campo eléctrico, buscará posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico.

* * * * *

mayor

52. El potencial eléctrico entre dos placas paralelas con cargas iguales y opuestas está dado por la ecuación $V =$ ....., donde E es el .... entre las placas y d es la ..... entre ellas. V se mide en voltios cuando E está en ..... y d en .....

* * * * *

Ed; campo eléctrico; distancia; newtons/culombio; metros

53. Un voltímetro conectado entre dos placas paralelas con cargas iguales y opuestas indica 250 voltios. La distancia entre las placas es de 5.0×10^{-2} metro. Calcule la magnitud del campo eléctrico en un punto a 4.0×10^{-2} m de la placa negativa.

* * * * *

$V = Ed$

$$E = \frac{V}{d} = \frac{250}{5.0 \times 10^{-2}} = 5000 \text{ newtons/culombio}$$

d es la distancia entre las placas. Recuerde que el campo es el mismo en cualquier punto que esté entre las placas.

54. Use los datos del cuadro anterior para calcular el potencial eléctrico en un punto a 4.0×10^{-2} m de la placa negativa.

* * * * *

$V = Ed$, donde d es la distancia del punto a la placa negativa.

$V =$ (5000 newtons/culombio) (4.00×10^{-2} metro)

$=$ 200 newtons-m/culombio $=$ 200 julios/culombio

$=$ 200 voltios

Sección 5. Diferencia de potencial eléctrico

$$\textit{Definición: } \frac{W_{ab}}{q} = V_b - V_a$$

1. Vea el Panel 17. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

P

2. Panel 17, Fig. 1. Sea Q una carga positiva y q una carga de prueba puesta en el campo de Q. Para mover a q de A a B en el campo, a

rapidez constante, es necesario que un agente externo realice un .... contra el campo eléctrico.

* * * * *

trabajo

3. Panel 17, Fig. 1. Cuando un agente externo aplica una fuerza a q para moverla de A a B, la energía potencial eléctrica de q (aumenta/disminuye/permanece igual).

* * * * *

aumenta

4. Panel 17, Fig. 1. El cambio en la .... de q, al moverse de A a B, es una medida del trabajo necesario para mover a q de A a B.

* * * * *

energía potencial eléctrica

5. Panel 17, Fig. 1. Sean U_a y U_b las energías potenciales eléctricas de q en A y en B respectivamente. Sea W_{ab} el trabajo requerido para mover a q de A a B. W_{ab} = ... *(en función de U_a y U_b).*

* * * * *

$U_b - U_a$

6. Panel 17, Fig. 1.

(1) $W_{ab} = U_b - U_a$

(2) Dividiendo ambos miembros entre q:

$$\frac{W_{ab}}{q} = \frac{U_b - U_a}{q} = \text{.....}$$ *(en función de U_b, U_a y q)*

* * * * *

$$\frac{U_b}{q} - \frac{U_a}{q}$$

7. Panel 17, Fig. 1.

(1) $W_{ab} = U_b - U_a$

(2) $\dfrac{W_{ab}}{q} = \dfrac{U_b}{q} - \dfrac{U_a}{q}$

(3) Pero $\dfrac{U_b}{q}$ y $\dfrac{U_a}{q}$ son los .... de q en A y B, respectivamente.

* * * * *

potenciales eléctricos

8. Panel 17, Fig. 1.

(1) $W_{ab} = U_b - U_a$.

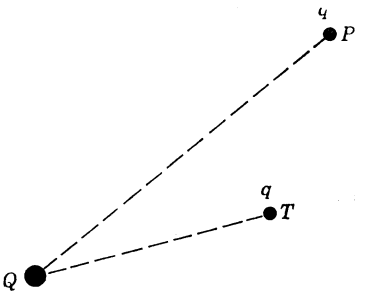
(2) $\frac{W_{ab}}{q} =$ ..... *(en función de V_a y V_b).*

(3) La cantidad $\frac{W_{ab}}{q}$ la definimos como *diferencia de potencial eléctrico* (o diferencia en potencial) de A a B. Es el ..... por unidad de ..... requerido para mover una carga de A a B.

* * * * *

$V_b - V_a$; trabajo; carga

9.



El trabajo (W_{pt}) requerido para mover a q de P a T se mide por el cambio en (el potencial eléctrico/la energía potencial eléctrica) de q al irse moviendo de P a T. La razón $\frac{W_{pt}}{q}$ se llama .....

de ..... eléctrico de P a T, o sea que $\frac{W_{pt}}{q} =$ .....

* * * * *

la energía potencial eléctrica; diferencia (de) potencial; $V_t - V_p$

10. $\frac{W_{ab}}{q} = V_b - V_a$. Si V_b y V_a se miden en voltios, la diferencia de potencial eléctrico entre A y B se mide en ..... Si V_a y V_b se miden en julios/c.e., la diferencia de potencial eléctrico entre A y B se medirá en .....

* * * * *

voltios; julios/c.e.

11. Panel 17, Fig. 1. $V_a = k\frac{Q}{r_1}$ y $V_b = \frac{Q}{r_2}$.

Cuando Q es positiva, V_a es (mayor/menor) que V_b, y $\frac{W_{ab}}{q}$ *es* (positiva/negativa).

* * * * *

menor; positiva (porque $\frac{W_{ab}}{q} = V_b - V_a$, y V_a es menor que V_b)

12. Panel 17, Fig. 1. Si Q es positiva, la diferencia de potencial eléctrico de A a B es (positiva/negativa). Ahora consideremos la diferencia de potencial eléctrico de B a A: $\frac{W_{ba}}{q} = V_a - V_b$; puesto que V_a es (mayor/menor) que V_b, la diferencia de potencial eléctrico de B a A es (positiva/negativa).

* * * * *

positiva; menor; negativa

13. Panel 17, Fig. 1. Suponga que movemos a q del punto A a un punto C que está a la misma distancia de Q que el punto A. Entonces $\frac{W_{ac}}{q} = V_c - V_a$. Puesto que $V_c(>/=/<)V_a$, la diferencia de potencial eléctrico de A a C es (positiva/negativa/cero).

* * * * *

=; cero

14. La diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos en un campo eléctrico *(escoja una de las respuestas):* (a) debe ser positiva; (b) debe ser negativa; (c) debe ser positiva o negativa; (d) puede ser positiva, negativa o cero.

* * * * *

(d)

15. $\frac{W_{ab}}{q} = V_b - V_a$. Si la diferencia de potencial eléctrico de A a B es positiva, el potencial eléctrico en A es (mayor/menor/igual) que el potencial eléctrico en B. Si la diferencia de potencial eléctrico de A a B es cero, el potencial eléctrico en A es (mayor/menor/igual) que el potencial eléctrico en B. Si $V_b - V_a$ es negativa, el potencial eléctrico en A es (mayor/menor/igual) que el potencial eléctrico en B.

* * * * *

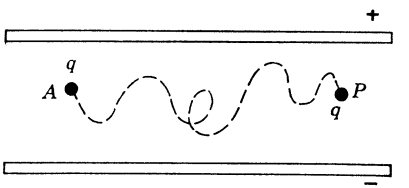
menor; igual; mayor

16. Si la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos en un campo eléctrico es cero (es/no es) necesario realizar un trabajo para mover una carga de un punto a otro.

* * * * *

no es

17.



La carga q es movida del punto A al punto P a lo largo de la trayectoria curva ilustrada. A y P son equidistantes a la placa negativa. $V_p(>/=/<)V_a$. La diferencia de potencial eléctrico de A a P es (positiva/negativa/cero). Al mover a q de A a P (se/no se) ha realizado un trabajo.

* * * * *

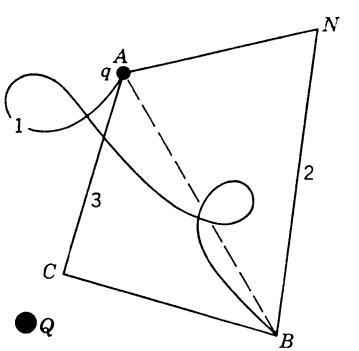
=; cero; no se

18. Cuando el trabajo realizado contra las fuerzas eléctricas al mover una carga de un punto a otro de un campo eléctrico es cero, la diferencia de potencial eléctrico entre esos puntos es (positiva/negativa/cero).

* * * * *

cero

19.



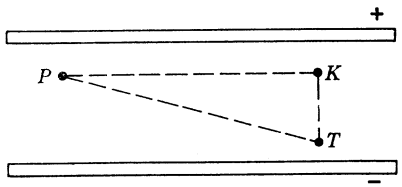
$\frac{W_{ab}}{q} = V_b - V_a$. Esta definición de la diferencia de potencial eléctrico no hace referencia a la trayectoria que sigue q al moverse de A a B. Esto significa que la diferencia de potencial eléctrico de A a B es *(escoja una*

respuesta): (a) la misma para 2 y 3, pero diferente para 1; *(b)* diferente para 1, 2 y 3; *(c)* la misma para 1, 2 y 3.

* * * * *

(c)

20.

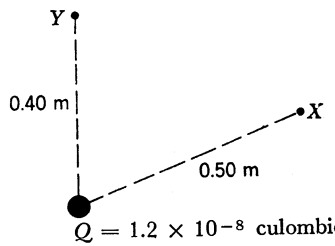


La diferencia de potencial de P a T, midiéndola moviendo una unidad de carga de P a K y de ahí a T, es (mayor/menor/igual) que midiéndola moviendo la unidad de carga directamente de P a T.

* * * * *

igual

21.



Calcule la diferencia de potencial eléctrico de X a Y.

V_{xy} = ... *(número y unidades).*

* * * * *

$$V_{xy} = \frac{W_{xy}}{q} = V_y - V_x$$

$$V_x = \frac{kQ}{r_1} = \frac{(9.0 \times 10^9)(1.2 \times 10^{-8})}{0.50} = 2.16 \times 10^2 \text{ voltios} = 216 \text{ voltios}$$

$$V_y = k\frac{Q}{r_2} = \frac{(9.0 \times 10^9)(1.2 \times 10^{-8})}{0.40} = 270 \text{ voltios}$$

$$V_{xy} = 54 \text{ voltios}$$

22. Refiérase a la figura y los datos del cuadro anterior. Suponga que una carga $q = 3.0 \times 10^{-6}$ culombio es puesta en x:

(1) $\dfrac{W_{xy}}{q} = V_y - V_x.$

(2) Multiplicando ambos miembros por q, tenemos $W_{xy} =$ .....

(3) El trabajo, en julios, requerido para mover a q de X a Y es .....

* * * * *

$q(V_y - V_x)$

$W_{xy} = (3.0 \times 10^{-6}$ culombio) (54 voltios)

$= (3.0 \times 10^{-6}$ culombio) (54 julios/culombio)

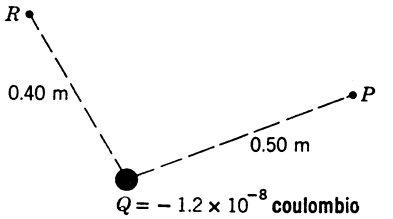
$= 1.62 \times 10^{-4}$ julio

23. Sea V_{ab} la diferencia de potencial eléctrico de A a B en el campo eléctrico alrededor de Q. El trabajo, W_{ab}, requerido para mover a una carga q de A a B, está dado por la ecuación: $W_{ab} =$ ..... *(use* V_{ab} y q*).*

* * * * *

qV_{ab}

24.



Calcule la diferencia de potencial eléctrico de P a R.

* * * * *

$$V_{pr} = \frac{W_{pr}}{q} = V_r - V_p$$

$$V_r = k\frac{Q}{r} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-1.2 \times 10^{-8})}{0.4} = -270 \text{ voltios}$$

$$V_p = k\frac{Q}{r} = \frac{(9.0 \times 10^9)(-1.2 \times 10^{-8})}{0.5} = -216 \text{ voltios}$$

$V_{pr} = (-270$ voltios) $-$ (-216 voltios) $= -54$ voltios

25. La diferencia de potencial eléctrico negativa de la respuesta del problema anterior indica que el potencial eléctrico en R es (mayor/menor/igual) que el potencial eléctrico en P.

* * * * *

menor

Sección 6. Diferencia de potencial eléctrico (continuación) Potencial eléctrico dentro de un conductor cargado Movimiento de cargas en un campo eléctrico: $\Delta E_k = -q\Delta V$

1. Panel 17. Vea la Fig. 2. Es una esfera conductora hueca con una carga Q. Hay un pequeño agujero en la superficie de la esfera. Ya hemos visto que el campo eléctrico *fuera* de la esfera es tal como si Q estuviera concentrada en el ..... de la esfera misma, y que la magnitud del campo eléctrico en P es $E =$ .....

* * * * *

centro; $k\frac{Q}{r^2}$

2. Panel 17, Fig. 2. La magnitud del campo eléctrico en la superficie de la esfera está dada por la ecuación: $E =$ .....

* * * * *

$k\frac{Q}{R^2}$

3. Panel 17, Fig. 2. El campo eléctrico en P es $E = k\frac{Q}{r^2}$. El potencial eléctrico en P es $V =$ .....

* * * * *

$\frac{kQ}{r}$

4. Panel 17, Fig. 2. El potencial eléctrico en la superficie de la esfera es $V =$ .....

* * * * *

$\frac{kQ}{R}$

5. Panel 17, Fig. 2. La magnitud del campo eléctrico dentro de la esfera es .....

* * * * *

cero, 0

6. Panel 17, Fig. 2. Por definición, $E = \frac{F_e}{q}$. Dentro de la esfera, $F_e =$ . . . . . .

* * * * *

cero, 0

7. Panel 17, Fig. 2. Dentro de una esfera conductora cargada (o en cualquier otro conductor hueco como un cilindro, etc.) (hay/no hay) una fuerza eléctrica aplicada a una carga. Esto significa que (es/no es) necesario realizar un trabajo contra las fuerzas eléctricas para mover una carga, de la superficie de una esfera a un punto dentro de ella.

* * * * *

no hay; no es

8. Panel 17. Vea la Fig. 3. A es un punto *afuera* de una esfera conductora hueca con carga Q; S es un punto *en su* superficie y X un punto *dentro* de la esfera. La diferencia de potencial eléctrico de S a X está dada por la ecuación: $\frac{W_{sx}}{q} =$ . . . . . *(use* V_s y V_x*).*

* * * * *

$V_x - V_s$

9. Panel 17, Fig. 3.

(1) $\frac{W_{sx}}{q} = V_x - V_s$

(2) Pero puesto que el campo entre S y X, es decir, el campo dentro de la esfera, es . . . . . , $W_{sx} =$ . . . . . .

* * * * *

cero; cero

10. Panel 17, Fig. 3.

(1) $\frac{W_{sx}}{q} = V_x - V_s$

(2) $W_{sx} = 0$. Por lo tanto,

(3) $V_x - V_s =$ . . . . . , o $V_x =$ . . . .

* * * * *

0, cero; V_s

11. Panel 17, Fig. 3. X es cualquier punto dentro de la esfera. S es cualquier punto en la superficie de la esfera. Acabamos de ver que el

potencial eléctrico en cualquier punto dentro de un conductor cargado, es (mayor que/menor que/igual a) el potencial eléctrico en la superficie del conductor.

* * * * *

igual a

12. Panel 17, Fig. 2. El potencial eléctrico en el centro de esta esfera es (igual/diferente) al potencial eléctrico en *P*. El potencial eléctrico en la superficie de esta esfera es (igual/diferente) al potencial eléctrico en *P*. El potencial eléctrico en el centro de la esfera es (igual/diferente) al potencial eléctrico en la superficie.

* * * * *

diferente; diferente; igual (porque el centro de la esfera es un punto *dentro* de la esfera).

13. Panel 17, Fig. 3. El *campo* eléctrico en el centro de esta esfera conductora cargada es (igual/diferente) al *campo* eléctrico en la superficie. El campo eléctrico en el centro de la esfera es (igual/diferente) al campo eléctrico en *A*.

* * * * *

diferente (estamos hablando de *campos, no* de potencial); diferente

14. Se dice que una masa *m* en el campo gravitacional de la Tierra, tiene cierta cantidad de energía ..... gravitacional. Cuando a *m* se le permite caer libremente, esta energía es transformada en energía

.....

* * * * *

potencial; cinética

15. Cuando en el campo gravitacional una masa *m* cae, hay (un aumento/una disminución) en su energía potencial gravitacional, y (un aumento/una disminución) en su energía cinética.

* * * * *

una disminución; un aumento

16. En una masa en estado de caída libre: $\Delta E_k = -\Delta U_g$. El signo menos indica que la energía cinética (aumenta/disminuye) al disminuir la energía potencial gravitacional.

* * * * *

aumenta

17. Cuando una masa es lanzada hacia arriba en el campo gravitacional de la Tierra, su energía potencial gravitacional (aumenta/disminuye), mientras su energía cinética (aumenta/disminuye).

$\Delta E_k = -\Delta U_g$. El signo menos indica que la energía cinética (aumenta/disminuye), mientras la energía potencial gravitacional aumenta.

* * * * *

aumenta; disminuye; disminuye

18. Siempre que haya una masa bajo la influencia del campo gravitacional de la Tierra únicamente, podemos relacionar los cambios en su energía cinética y en su energía potencial gravitacional, con la ecuación: $\Delta E_k =$ .....

* * * * *

$-\Delta U_g$

19. Una masa *cargada positivamente* y en libertad de moverse en un campo eléctrico, buscará posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico; al hacerlo (habrá un aumento/habrá una disminución/no habrá ningún cambio) en su energía potencial eléctrica, y (un aumento/una disminución/ningún cambio) en su energía cinética.

* * * * *

menor; habrá una disminución; un aumento

20. Vea el Panel 17, Fig. 1.

(1) $V_B - V_A = \dfrac{U_B}{q} - \dfrac{U_A}{q}$

(2) Combinando los términos del miembro derecho de esta ecuación sobre el mismo denominador: $V_B - V_A = \dfrac{U_B - U_A}{q}$.

(3) Multiplicando ambos miembros por q: $U_B - U_A =$ .....

* * * * *

$q(V_B - V_A)$

21. Panel 17, Fig. 1. El cambio (ΔU_e) en la energía potencial eléctrica de q al moverse de A a B está dado por la ecuación $\Delta U_e =$ ..... *(en función de q, V_A y V_B).*

* * * * *

$q(V_B - V_A)$

22. Panel 17, Fig. 1. Sea ΔV la diferencia de potencial eléctrico de A a B y ΔU_e y ΔE_k los cambios correspondientes en la energía potencial eléctrica y en la energía cinética de q:

(1) $\Delta E_k = -\Delta U_e$

(2) $\Delta U_e =$ ..... *(en función de* q y ΔV*).*

(3) $\Delta E_k =$ ..... *(en función de* q y ΔU*).*

* * * * *

$q\Delta V$

$-q\Delta U$ *(no olvide el signo menos)*

23. Panel 17, Fig. 1. Suponga que $V_A = 190$ voltios, $V_B = 210$ voltios y $q = 3 \times 10^{-6}$ culombio. Calcule el cambio en la energía cinética de q al moverse de A a B.

* * * * *

$\Delta E_k = -q\Delta V = -q(V_B - V_A)$

$\Delta E_k = -(3 \times 10^{-6}$ culombio$)(210$ voltios $- 190$ voltios$)$

$= -(3 \times 10^{-6}$ culombio$)(20$ julios/culombio$)$

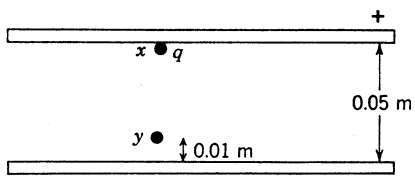
$= -6.0 \times 10^{-5}$ julio

24. El signo menos en la respuesta del cuadro anterior significa que (hay un aumento/hay una disminución/no hay cambios) en la energía cinética de q, y que (hay un aumento/hay una disminución/no hay cambios) en la energía potencial eléctrica de q.

* * * * *

hay una disminución; hay un aumento

25.



La diferencia de potencial eléctrico de x a y es -200 voltios. q tiene una carga de 6×10^3 ce. Calcule la energía cinética de q en y, si comienza en x a partir del reposo (use como unidad el electrón-voltio).

* * * * *

$\Delta E_k = -q\Delta V = -(6 \times 10^3$ ce$)(-200$ voltios$)$

$= +1.2 \times 10^6$ electrón-voltios

26. El signo más en la respuesta de este problema indica que (hay un aumento/hay una disminución/no hay cambio) en la energía cinética de q, al moverse de x a y.

* * * * *

hay un aumento

27. Vea el Panel 18. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

D

28. Panel 18, Fig. 1. Lea el párrafo descriptivo. Los protones tienen una carga (positiva/negativa) de 1 (culombio/carga elemental). La energía cinética con que los protones llegan al blanco está determinada por el cambio en su ..... eléctrica al moverse de *P* a *A* porque el ..... eléctrico en cualquier punto dentro de un conductor cargado, es el mismo que hay en la superficie de tal conductor.

* * * * *

positiva; carga elemental; energía potencial; potencial

29. Panel 18, Fig. 1. Calcule la diferencia de potencial eléctrico de *P* a *A*.

* * * * *

$$V_{PA} = V_A - V_P$$

$$V_A = k\frac{Q}{r} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(-6.25 \times 10^{12})}{0.50} = -28.8 \times 10^{-16}\ \frac{\text{julios}}{\text{ce}}$$

$$V_P = k\frac{Q}{r} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(-6.25 \times 10^{12})}{5.0} = -2.88 \times 10^{-16}\ \frac{\text{julios}}{\text{ce}}$$

$$V_{PA} = (-2.88 \times 10^{-15}) - (-0.288 \times 10^{-15})$$
$$= -2.59 \times 10^{-15}\ \text{julios/ce}$$

30. Panel 18, Fig. 1. La energía cinética de los protones cuando llegan a *A* es de ..... julio.

* * * * *

$$\Delta E_k = -q\Delta V = -(1\ \text{ce})(-2.59 \times 10^{-15}\ \text{julios/ce})$$
$$= 2.59 \times 10^{-15}\ \text{julio}$$

31. Panel 18, Fig. 1. La energía cinética de los protones cuando dan en el blanco es de ..... julio. Convierta esta cantidad a electrón-voltios *(si olvidó usted el factor de conversión, verifíquelo en el protector para ocultar las respuestas).*

* * * * *

$1\ \text{julio} = 6.25 \times 10^{18}$ electrón-voltios

$$2.59 \times 10^{-15}\ \text{julio} = (2.59 \times 10^{-15})(6.25 \times 10^{18})$$
$$= 1.62 \times 10^{4}\ \text{electrón-voltios}$$

32. Panel 18, Fig. 1. Si el blanco está entre 0 y el agujero de la esfera (hay un aumento/hay una disminución/no hay cambio) en la

energía cinética con que los protones dan en el blanco. Explique su respuesta.

* * * * *

no hay cambio (porque el potencial eléctrico de *todos* los puntos dentro de la esfera es el mismo que hay en la superficie de ésta).

33. Panel 18, Fig. 1. $E_k = (\frac{1}{2})mv^2$. La masa de un protón es 1.67×10^{-27} Kg. Calcule la rapidez de un protón al dar en el blanco.

* * * * *

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$(\frac{1}{2})mv^2 = 2.59 \times 10^{-15}$ julio

$(\frac{1}{2})1.67 \times 10^{-27} v^2 = 2.59 \times 10^{-15}$

$$v^2 = \frac{5.18 \times 10^{-15}}{1.67 \times 10^{-27}} = 3.1 \times 10^{12}$$

$v \approx 1.76 \times 10^6$ m/seg.

34. Panel 18. Vea la Fig. 2. El campo eléctrico E entre las placas es (constante/variable) excepto en los ..... de las placas.

* * * * *

constante; extremos

35. Panel 18, Fig. 2. La fuerza eléctrica sobre una carga positiva q en o entre estas placas está dada por la ecuación. $\vec{F} =$ ..... *(en función de* E y q*)*, siendo su dirección (de la placa positiva a la negativa/de la placa negativa a la positiva/paralela a estas placas).

* * * * *

$\vec{E}q$; de la placa positiva a la negativa

36. Panel 18, Fig. 2. El trabajo realizado sobre la carga $q(+)$ al recorrer una distancia d de cualquier punto entre las placas a la placa negativa, es:

(1) Trabajo $= Fd$.

(2) Puesto que $F = Eq$.

(3) Trabajo = ... *(en función de la carga, el campo y la distancia recorrida).*

* * * * *

Eqd

37. Panel 18, Fig. 2. Pero Ed es el ..... eléctrico en cualquier punto a una distancia d de la placa negativa.

* * * * *

potencial

38. Panel 18, Fig. 2.

(1) Trabajo $= Fd = Eqd$.

(2) $Ed = V$.

(3) Por lo tanto, el trabajo realizado sobre una carga $(+)q$ al recorrer entre las placas una distancia d hacia la placa negativa, es $W =$ ..... en función del potencial eléctrico y la carga.

* * * * *

Vq

39. Panel 18, Fig. 2. El trabajo realizado sobre una carga q por fuerzas eléctricas entre las placas es igual al ..... en la energía cinética de q. Si q comienza a partir del reposo, entonces, después de haber recorrido una distancia d en este campo, su energía cinética es $E_k =$ ..... en función del potencial eléctrico y la carga.

* * * * *

cambio; Vq

40. Panel 18, Fig. 2. Una carga negativa puesta en la placa negativa o en cualquier punto del espacio entre las placas, quedará sometida a una fuerza eléctrica en dirección de la placa (positiva/negativa) a la (positiva/negativa).

* * * * *

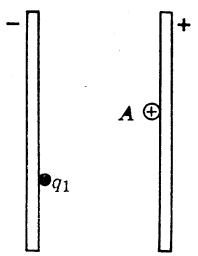
negativa; positiva

41. Panel 18, Fig. 2. Sin considerar la dirección del movimiento, el cambio en la energía cinética de una carga negativa es igual al de una carga positiva q igual, en el mismo campo. Si V es el potencial entre las placas, el cambio en la energía cinética de una partícula cargada negativamente, al ir de una placa a la otra, es $E_k =$ .....

* * * * *

Vq

42.



Un voltímetro conectado entre estas placas indica 100 voltios. Un protón parte de A, a partir del reposo. Calcule su energía cinética en julios,

cuando llega a la placa negativa. *(Recuerde que* 1 voltio $= 1.6 \times 10^{-19}$ julios/ce.)

* * * * *

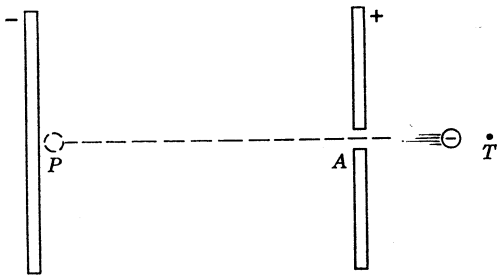
$E_k = Vq = 100(1.6 \times 10^{-19}$ julios/ce$)(1$ ce$)$
$= 1.6 \times 10^{-17}$ julio

43. Use los datos y la figura del cuadro anterior para calcular la energía cinética de $q_1 = 1$ culombio cuando toca la placa positiva.

* * * * *

$E_k = Vq =$ (100 voltios) (1 culombio)
= (100 julios/culombio) (1 culombio)
= 100 julios

44.



El potencial eléctrico entre estas placas es de 1000 voltios. Un electrón parte de la placa negativa en *P*, cruza el campo y pasa a través del agujero en la placa positiva. Calcule su energía cinética en el punto *A*, en electrón-voltios.

* * * * *

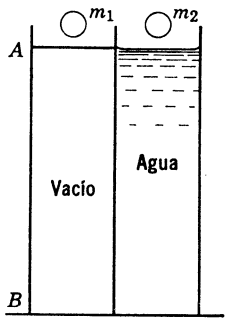
$E_k = Vq =$ (100 voltios) (1 ce)
= 1000 electrón-voltios

45. Refiérase a los datos y la figura del cuadro anterior. ¿Cuál es la energía cinética del electrón en el punto *T*?. Explique su respuesta.

* * * * *

1000 electrón-voltios (porque no hay campo eléctrico fuera de las placas; por lo tanto, no hay fuerzas eléctricas que cambien la energía cinética del electrón después de pasar por *A*).

46.



$m_1 = m_2$. Las energías potenciales de m_1 y de m_2 en A respecto a B son (iguales/desiguales). Cuando se les permite caer del nivel A al nivel B sus energías potenciales disminuyen (igualmente/desigualmente). Sus energías cinéticas al llegar a B son (iguales/desiguales).

* * * * *

iguales; igualmente; desiguales

47. Vea la figura del cuadro anterior. La masa que cae a través del agua usa parte de la energía ..... que posee en A para realizar un trabajo contra la resistencia del agua. Es muy probable que la temperatura del agua se eleve ligeramente al pasar m_2 a través de ella, y esto significa que una parte de la energía disponible en A ha sido transformada en .....

* * * * *

potencial; calor

48. Cuando decimos que una disminución en la energía potencial gravitacional implica un aumento igual en energía cinética, estamos suponiendo que (se/no se) ha realizado un trabajo en contra de la fricción, la resistencia del aire, etc.

* * * * *

no se

49. En las figuras 1 y 2 del Panel 18, hemos supuesto que toda la pérdida de energía potencial eléctrica ha sido transformada en energía cinética. Esto es cierto si el trabajo realizado en contra de la "resistencia eléctrica" (es/no es) despreciable.

* * * * *

es

50. Vea la Fig. 3 del Panel 18. Aquí, las placas paralelas de la Fig. 2 han sido sumergidas en una solución conductora de cargas. Puesto

que las cargas en movimiento de una placa a la otra *no* están moviéndose en el vacío, es probable que encuentren alguna clase de resistencia. Esto significa que probablemente ΔE_k es (mayor que/menor que/igual a) Vq.

* * * * *

menor que

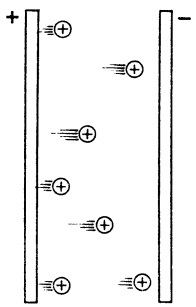
51. Panel 18, Fig. 3. El potencial eléctrico de A a B es V. La energía potencial eléctrica de una carga positiva en A está dada por la ecuación $U =$ ..... Al moverse q a través de la solución, alcanza rápidamente una velocidad uniforme v. La cantidad $\frac{1}{2}(mv^2)$ es (mayor que/menor que/igual a) U. El resto probablemente cambia a una forma de energía que llamamos .....

* * * * *

Vq; menor que; calor

Sección 7. La fuerza electromotriz (fem)

1.



Conforme las cargas positivas dejan la placa (+) y van hacia la placa (−), la placa (+) se hace (más/menos) positiva y la placa (−) se hace (más/menos) negativa.

* * * * *

menos (porque pierde cargas +)

menos (porque las cargas + anulan las cargas −)

2. Vea la figura del cuadro anterior. Suponga que hubiera cargas negativas moviéndose de la placa negativa a la positiva. En tal caso, la placa positiva se haría (más/menos) positiva, y la placa negativa se haría (más/menos) negativa.

* * * * *

menos; menos

3. En ambos casos, las cargas en las placas (aumentan/disminuyen/permanecen iguales) y, en consecuencia, la magnitud del campo eléctrico (aumenta/disminuye/permanece igual).

* * * * *

disminuyen; disminuye

4. Vea la figura del cuadro 1. Al disminuir el campo eléctrico entre las placas, el potencial eléctrico entre ellas (aumenta/disminuye).

* * * * *

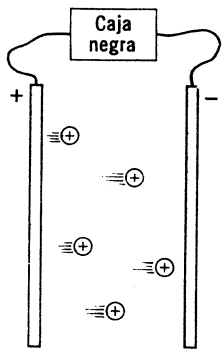
disminuye

5. Vea la figura del cuadro 1. Cuando no hay diferencia de potencial eléctrico entre las placas (hay/no hay) fuerza eléctrica que mueva las cargas de una placa a la otra. Entonces las cargas *(a)* continuarán moviéndose indefinidamente de una placa a la otra; *(b)* cesarán de moverse de una placa a la otra cuando el potencial eléctrico llegue a cero.

* * * * *

no hay; *(b)*

6.



Suponga que este dispositivo tomara cargas (+) de la placa negativa en el instante en que llegaran a ella, y las regresara a la placa positiva; entonces las cargas (+) (podrían/no podrían) moverse entre las placas mientras el dispositivo estuviera funcionando.

* * * * *

podrían

7. El dispositivo descrito en el cuadro anterior nos permite mantener indefinidamente una ..... eléctrica entre las placas.

* * * * *

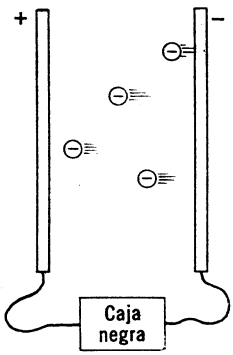
diferencia de potencial o campo.

8. Un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico mayor que cero entre dos puntos, a los cuales se conecta, se llama fuente de fem (*f*uerza *e*lectro*m*otriz). El dispositivo descrito en el cuadro 6, el cual recoge cargas (+) de la placa (+/−) y las regresa a la placa (+/−), (es/no es) una fuente de fem.

* * * * *

(−); (+); es

9.



Este dispositivo recoge cargas (−) de la placa (+) en el instante en que llegan a ella y las regresa a la placa (−). Al hacerlo (mantiene/no mantiene) una diferencia de potencial entre las placas. (Es/no es) una fuente de fem.

* * * * *

mantiene; es

10. El nombre "fuerza electromotriz" es engañoso porque una diferencia de potencial *no es* una fuerza. Por ello, los físicos solamente usan las iniciales fem. Una fuente de fem es cualquier dispositivo que mantiene una ..... de ..... eléctrico entre dos puntos, a los cuales está conectado.

* * * * *

diferencia (de) potencial

11. Vea el Panel 19. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

F

12. Panel 19. En la Fig. 1*(a)* dos placas con cargas opuestas están sumergidas en un líquido que tiene un número infinitamente grande de partículas cargadas positivamente. Estas partículas se dirigirán a la placa

negativa, dejando de hacerlo cuando el potencial eléctrico entre las placas sea ..... *(número)*.

* * * * *

cero, 0

13. Panel 19. En la Fig. 1*(a)*, la diferencia de potencial entre las placas desaparece en pocos segundos y las cargas (+) cesan de moverse hacia la derecha. En la Fig. 1*(b)*, se conecta a las placas un dispositivo llamado "batería", para mantener indefinidamente una diferencia de potencial entre las placas. Por lo tanto, la batería es un ejemplo del dispositivo que llamamos ..... de .....

* * * * *

fuente (de) fem

14. Panel 19, Fig. 1*(b)*. Para mantener una diferencia de potencial entre las placas, la batería debe retirar continuamente cargas (+) de la placa (+/−) y llevarlas a la placa (+/−). Sabemos que un generador haría lo mismo. Un generador (es/no es) una fuente de fem.

* * * * *

(−); (+); es

15. Panel 19, Fig. 1*(b)*. La remoción de cargas (+) de la placa (−) y su regreso a la placa (+) requiere que se realice un ..... en contra del campo eléctrico. En una batería, este trabajo proviene de la energía *química* de los materiales de la batería. En este curso no estudiaremos la química interna de una batería; para nuestros propósitos es suficiente saber que una batería es una fuente de ..... en la cual la energía ..... es transformada en energía potencial .....

* * * * *

trabajo; fem; química; eléctrica

16. No todas las fuentes de fem son de estructura química. Por ejemplo, en un generador se emplea la energía *mecánica* (la rotación de una flecha) para mover cargas de un punto a otro de distinto potencial, en contra del campo eléctrico. En este caso, la energía ..... es transformada en .....

* * * * *

mecánica; energía potencial eléctrica

17. Generalizando, una fuente de fem es un dispositivo capaz de mantener una ..... eléctrica entre los dos puntos a que se conecta. Es cualquier dispositivo en el que la .....

..... química, mecánica o de alguna otra especie, es transformada en .....

* * * * *

diferencia de potencial *o* campo; energía; energía potencial eléctrica

18. La fem de una batería (o de cualquiera otra fuente de fem) es el *trabajo por unidad de carga* (culombio ó ce) requerido para mover una carga en contra de un campo eléctrico y mantener así una diferencia de potencial eléctrico mayor que cero entre dos puntos. Usaremos la letra $\mathcal{E}$ para representar esta cantidad física; $\mathcal{E}$ se medirá en unidades de (fuerza/carga/potencial eléctrico/campo eléctrico/energía potencial eléctrica).

* * * * *

potencial eléctrico

19. $\mathcal{E}$ es la letra que usaremos para representar la ..... de una batería, generador, etc. Es una medida del ..... por unidad de ..... requerido para mover una carga de un punto a otro en un campo eléctrico (en el sentido/en contra) del campo. $\mathcal{E}$ se puede medir en (newtons/newtons por culombio/julios/julios por ce/electrón-voltios/voltios/culombios) *(escoja cualesquiera que se apliquen).*

* * * * *

fem; trabajo; carga; en contra; julios por ce y voltios

20. Panel 19, Fig. 1*(b)*. La batería retira 3×10^{-6} culombio de carga de la placa (−) y los regresa a la placa positiva. En el proceso, realiza un trabajo de 1.2×10^{-4} julio. $\mathcal{E}$ = ... voltios.

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{\text{trabajo}}{\text{carga}} = \frac{1.2 \times 10^{-4}\ \text{julio}}{3 \times 10^{-6}\ \text{culombio}} = 40\ \text{julios/culombio} = 40\ \text{voltios}$$

21. Panel 19, Fig. 1*(b)*. Sea $\mathcal{E} = 6$ voltios. ¿Qué trabajo ha realizado la batería al regresar a la placa (+) 5 culombios de carga?

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{\text{trabajo}}{\text{carga}}$$

$$6\ \text{voltios} = \frac{\text{trabajo}}{5\ \text{culombios}}$$

Trabajo = (6 julios/culombio) (5 culombios) = 30 julios

22. Panel 19, Fig. 1*(b)*. Si la batería regresa 6×10^{23} cargas elementales a la placa positiva y realiza 12 julios de trabajo, calcule $\mathcal{E}$.

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{\text{trabajo}}{\text{carga}} = \frac{12 \text{ julios}}{6 \times 10^{23} \text{ ce}} = 2 \times 10^{-23} \text{ julios/ce}$$

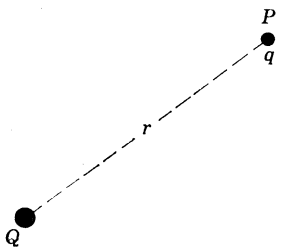
Sección 8. Repaso y problemas

1. El potencial eléctrico y la fem (se/no se) pueden medir en las mismas unidades. El potencial eléctrico y la energía potencial eléctrica (se/no se) pueden medir en las mismas unidades.

* * * * *

se; no se

2.



Q y q son dos cargas puntuales. En función de Q, q y r, escriba las ecuaciones para:

(1) E, el campo eléctrico en P.
(2) V, el potencial eléctrico en P.
(3) U, la energía potencial eléctrica de q.
(4) F, la fuerza eléctrica de Q, actuando sobre q.

* * * * *

(1) $E = k\dfrac{Q}{r^2}$ (2) $V = k\dfrac{Q}{r}$

(3) $U = k\dfrac{Qq}{r}$ (4) $F = k\dfrac{Qq}{r^2}$

3. Vea la figura del cuadro anterior:
Por definición, $E =$ ..... Por definición, $V =$ .....

* * * * *

$\dfrac{F}{q}; \dfrac{U}{q}$

4. Vea la figura del cuadro 2. Si Q es negativa, la dirección de $\vec{E}$ en P es (hacia/alejándose de) Q. Si Q y q son negativas, la energía potencial eléctrica de q en P es (positiva/negativa) y el potencial eléctrico en P es (positivo/negativo).

* * * * *

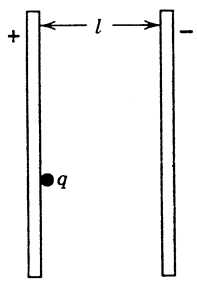
hacia; positiva; negativo

5. Una carga positiva en libertad de moverse en un campo eléctrico busca posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico. Una carga negativa con libertad de movimientos en un campo eléctrico buscará posiciones de (mayor/menor/igual) potencial eléctrico.

* * * * *

menor; mayor

6.



Estas placas son paralelas. El campo entre ellas es E. En función de E, q y l, escriba las ecuaciones para lo siguiente:

(1) V, la diferencia de potencial entre las placas.

(2) F, la fuerza eléctrica actuando sobre q, cuando está a la mitad de la distancia entre las placas.

(3) U, la energía potencial eléctrica de q cuando está en la placa (+).

* * * * *

$V = El$; $F = Eq$; $U = Eql$

7. Veamos la figura del cuadro anterior. Si q es positiva, deja la placa positiva a partir del reposo y el espacio entre las placas está al vacío, la energía cinética de q cuando toca la placa negativa, es $E_k =$ ..... *(en función de E, q y l)* y $E_k =$ ..... *(en función de V y q)*.

* * * * *

Eql; Vq

8. Según la figura del cuadro 6. Sea una carga $q = 3$ ce y una diferencia de potencial entre las placas de 150 voltios. Calcule la energía

cinética de q cuando llega a la placa negativa, (1) en electrón-voltios y (2) en julios.

* * * * *

$E_k = Vq$ = (150 voltios) (3 ce) = 750 electrón-voltios
1 electrón-voltio = 1.6×10^{-19} julio
E_k = (750) (1.6×10^{-19}) julio = 1.2×10^{-16} julio

9. El voltio es una unidad de ..... eléctrico.
El newton/culombio es una unidad de ..... eléctrico.
El julio/carga elemental es una unidad de ..... eléctrico.
El electrón-voltio es una unidad de .....

* * * * *

potencial; campo; potencial; energía

10. Panel 19, Fig. 2. Examine cuidadosamente estas gráficas. Representan: *(a)* ..... eléctrico y *(b)* ..... eléctrico, en función de la distancia (r) medida desde (el centro/la superficie) de una esfera conductora hueca con carga Q.

* * * * *

potencial; campo; el centro

11. Panel 19, Fig. 2. El hecho de que V y E nunca sean (positivos/negativos) indica que la carga sobre Q es (positiva/negativa).

* * * * *

negativos; positiva

12. Panel 19, Fig. 2. Conforme el valor de r se aproxima al de R, el *potencial* eléctrico (aumenta/disminuye/permanece constante) y el *campo* eléctrico (aumenta/disminuye/permanece constante). Conforme r va de $r = R$ a $r = 0$, el potencial eléctrico (aumenta/disminuye/permanece constante) y el campo eléctrico (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; aumenta; permanece constante; disminuye

13. Panel 19, Fig. 2. Estas gráficas comprueban el hecho de que el campo eléctrico dentro de un conductor cargado es (igual al que hay en su superficie/cero/mayor al que hay en su superficie) y que el potencial eléctrico dentro de un conductor cargado es (igual al que hay en su superficie/cero/mayor al que hay en su superficie).

* * * * *

cero; igual al que hay en su superficie

14. Vea el Panel 20. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

H

15. Panel 20. Lea el problema 1. Sea Q la carga positiva en la superficie de un átomo de oro. $Q =$ ..... *(número y unidades).*

* * * * *

79 ce

16. Panel 20, problema 1. Para una esfera con carga Q y radio R, el campo en su superficie está dado por la ecuación: $E =$ .....

* * * * *

$$k\frac{Q}{R^2}$$

17. Panel 20, problema 1. Calcule la respuesta de la parte *(a)* en newtons/ce.

* * * * *

$$E = k\frac{Q}{R^2} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(79)}{(10^{-10})^2} = 1.8 \times 10^{-6} \text{ newton/ce}$$

18. Panel 20, problema 1. El potencial eléctrico en la superficie de una esfera cargada con radio R y carga Q es: $V =$ .....

* * * * *

$$V = k\frac{Q}{R}$$

19. Panel 20, problema 1. Calcule la respuesta a la parte *(b)* en julios/ce.

* * * * *

$$V = k\frac{Q}{R} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(79)}{10^{-10}} = 1.8 \times 10^{-16} \text{ julios/ce}$$

20. Panel 20. Lea el problema 2. En el problema 1 la carga positiva está (extendida en la superficie/concentrada en el centro) del átomo.

* * * * *

extendida en la superficie

21. Panel 20, problema 2. En un átomo de Rutherford, la carga positiva está concentrada en una región (del centro/de la superficie) del átomo, llamada .....

* * * * *

del centro; núcleo

22. Panel 20, problema 2. Compare el radio del átomo (R_a) del problema 1, con el radio del núcleo (R_n). $\frac{R_a}{R_n} =$ ..... *(número).*

* * * * *

$$\frac{10^{-10}}{10^{-14}} = 10^4$$

23. Panel 20, problema 2. Calcule la respuesta a la parte *(a)* en newtons/ce, y la respuesta a la parte *(b)* en julios/ce.

* * * * *

$$E = k\frac{Q}{r^2} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(79)}{(10^{-14})^2} = 180 \text{ newtons/ce}$$

$$V = \frac{kQ}{r} = \frac{(2.3 \times 10^{-28})(79)}{10^{-14}} = 1.8 \times 10^{-12} \text{ julios/ce}$$

24. Panel 20. Lea el problema 3. Para la parte *(a):* sea l la separación de las placas y V la diferencia de potencial entre ellas. (1) Escriba una ecuación para E, en función de V y l. $E =$ ..... (2) Calcule E en newtons/culombio.

* * * * *

(1) $E = \frac{V}{l}$

(2) $E = \frac{90 \text{ voltios}}{3 \times 10^{-3} \text{ m}} = 3.0 \times 10^4$ newtons/culombio

25. Panel 20, problema 3. Para la parte *(b),* sea E la magnitud del campo eléctrico y q la carga entre las placas. Escriba una ecuación para la fuerza sobre q: $F =$ .....

* * * * *

Eq

26. Panel 20, problema 3*(b)*. La fuerza eléctrica actuando sobre una carga entre las placas (depende/no depende) de la distancia de q a la placa negativa.

* * * * *

no depende

27. Panel 20, problema 3. Calcule la respuesta al inciso *(b)*: $F =$ ..... newtons.

* * * * *

$E = 3.0 \times 10^4$ newtons/culombio

$F = Eq = (3.0 \times 10^4 \text{ newtons/culombio})(5 \times 10^{-5} \text{ culombio})$

$= 15 \times 10^{-1} = 1.5$ newtons

28. Panel 20, problema 3. Para la parte *(c)*, el potencial eléctrico a cualquier distancia d de la placa negativa está dado por la ecuación: $V =$ .....

* * * * *

Ed

29. Panel 20. Calcule la respuesta, en voltios, al problema *3(c)*.

* * * * *

$V = Ed = (3.0 \times 10^4 \text{ newtons/culombio})(1.5 \times 10^{-3} \text{ m})$

$= 45$ julios/culombio $= 45$ voltios

30. Panel 20, problema 3. Para la parte *(d)*, $V =$ ..... voltios y $l =$ ..... m. Calcule el campo eléctrico entre las placas bajo estas condiciones.

* * * * *

180; 6×10^{-3}

$$E = \frac{V}{l} = \frac{180 \text{ voltios}}{6 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^4 \text{ newtons/culombio}$$

31. Panel 20, problema 3. Cuando cambiamos el potencial eléctrico y la separación de las placas multiplicándolos por el mismo factor, la magnitud del campo eléctrico (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

permanece constante

32. Panel 20, problema 3. En la parte *(e)* estamos usando (culombios/cargas elementales) para medir la carga. Esto requiere que cambiemos la diferencia de potencial a ..... *(unidades)* si queremos obtener energía cinética en julios.

* * * * *

cargas elementales; julios/ce

33. Panel 20, problema *3(e)*. $V = 2 \times 10^3$ voltios = ... julios/carga elemental.

* * * * *

1 voltio $= 1.6 \times 10^{-19}$ julios/ce

2×10^3 voltios $= (2 \times 10^3)(1.6 \times 10^{-19})$ julios/ce

$= 3.2 \times 10^{-16}$ julios/ce

34. Panel 20, problema *3(e)*. Sea V el potencial eléctrico entre las placas y q la carga en la partícula alfa. Una ecuación para la energía cinética de la partícula alfa al pasar a través del agujero es: $E_k =$ ....

* * * * *

Vq

35. Panel 20. Calcule la respuesta, en julios, al problema *3(e)*.

* * * * *

$E_k = Vq = (2 \text{ ce})(3.2 \times 10^{-16} \text{ julios/ce})$

$= 6.4 \times 10^{-16}$ julio

36. Panel 20, problema *3(f)*. Hemos supuesto que la partícula alfa sale al vacío. Sabemos que las cargas en las placas (ejercen/no ejercen) una fuerza sobre ella después de que sale del agujero. La velocidad de la partícula alfa, después de salir del agujero (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

no ejercen; permanece constante

37. Panel 20, problema *3(f)*. La ecuación para E_k en función de la masa m y la velocidad v es: $E_k =$ ..... Después de que la partícula alfa pasa el agujero, $E_k =$ ..... julios.

* * * * *

$(\frac{1}{2})mv^2$; 6.4×10^{-16} julio

38. Panel 20, problema *3(f)*. Calcule la rapidez de la partícula alfa, en m/seg.

* * * * *

$(\frac{1}{2})mv^2 = 6.4 \times 10^{-16}$

$(\frac{1}{2})6.7 \times 10^{-27} v^2 = 6.4 \times 10^{-16}$

$$v^2 = \frac{12.8 \times 10^{-16}}{6.7 \times 10^{-27}} = 1.91 \times 10^{11}$$

$v \approx 4.4 \times 10^5$ m/seg.

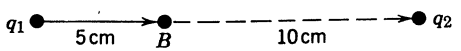
PROBLEMAS

1. Una carga de prueba de 2.0×10^{12} unidades de carga natural elemental es puesta en la vecindad de un objeto con carga Q. Si Q ejerce una fuerza de 8.0×10^{-5} newton sobre la carga de prueba, calcule el campo eléctrico de Q en el punto donde está la carga de prueba.

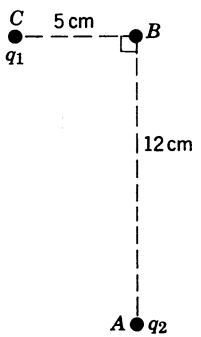
2. Una carga de 5.0×10^{16} unidades de carga elemental es puesta en una esfera metálica hueca cuyo radio es de 10 cm. Calcule el campo eléctrico a una distancia de *(a)* 15 cm, *(b)* 100 cm, *(c)* 5 cm, del centro de la esfera. Calcule la energía potencial eléctrica de una carga puntual de 2.0×10^5 cargas naturales, en las posiciones *(a)*, *(b)* y *(c)* anteriores. Calcule los potenciales eléctricos en estos puntos.

3. Calcule el campo eléctrico y el potencial eléctrico que hay a 2 metros de una carga puntual de 10 culombios.

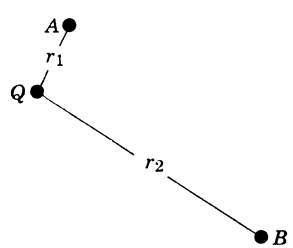
4. Calcule la magnitud del campo eléctrico total en B, si $q_1 = 5$ culombios y $q_2 = -15$ culombios. Calcule el potencial eléctrico en B:



5. Calcule la magnitud del campo eléctrico en B, si $q_1 = 5$ culombios y $q_2 = -15$ culombios, y AB y BC son perpendiculares. Calcule el potencial eléctrico en B.



6. Calcule la diferencia de potencial eléctrico de A a B, si $Q = -25$ culombios, $r_1 = 1$ metro y $r_2 = 10$ metros. Calcule la diferencia de potencial eléctrico de B a A. Interprete cualesquiera diferencias en signos en sus respuestas.



7. Los físicos, a veces, hacen una distinción entre los campos vectoriales y los campos escalares. En estos términos, ¿cómo clasificaría usted los campos eléctricos y los potenciales eléctricos?

8. Un protón es acelerado, a partir del reposo, hacia el centro de una esfera cargada. La esfera tiene una carga de $-10{,}000$ culombios y un radio de 1 metro. La carga del protón es 1 unidad de carga elemental. Calcule el cambio en la energía potencial del protón en el momento en que va a dar en un blanco colocado en el centro de la esfera, *(a)* en electrón-voltios; *(b)* en julios; *(c)* calcule la rapidez del protón cuando da en el blanco, si la masa de un protón es 1.67×10^{-27} kg.

9. Calcule el campo eléctrico entre dos grandes placas paralelas separadas por 5 cm, cuando se les aplica una diferencia de potencial de 2,000 voltios entre ellas. Calcule el campo cuando las placas están separadas 25 cm. Calcule el campo cuando están separadas 5 cm y tienen una diferencia de potencial entre ellas de 20,000 voltios. Calcule el campo cuando las placas están separadas 25 cm, con una diferencia de potencial entre ellas de 20,000 voltios.

10. Calcule la fuerza eléctrica en una carga de -3 culombios cuando está a medio camino entre dos grandes placas paralelas separadas 10 cm con una diferencia de potencial entre ellas de 90 voltios. Calcule la fuerza eléctrica en esta carga, cuando está a 2 cm de la placa cargada negativamente.

11. Calcule la energía cinética de la partícula del problema 10, cuando choca con la placa positiva, si parte de la placa negativa desde el reposo. Calcule el trabajo que se ha realizado para mover la partícula, de la placa negativa, hasta una distancia de 2 cm de la placa positiva.

CAPITULO 3

ELECTRICIDAD EN MOVIMIENTO

OBJETIVOS:

Al terminar el estudio concienzudo de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Describir el movimiento de cargas en diversos tipos de conductores: sólidos, líquidos, gases y en el vacío.
2. Dar una definición cuantitativa de la corriente eléctrica.
3. Definir y calcular la resistencia eléctrica.
4. Enunciar la ley de Ohm.
5. Distinguir entre dispositivos óhmicos y no óhmicos.
6. Describir los cambios de energía en un circuito eléctrico.
7. Resolver problemas de circuitos con resistencias en serie y en paralelo.

NOTA PRELIMINAR:

Hasta ahora hemos considerado principalmente cargas en reposo y que no necesariamente se mueven en un campo eléctrico. Sin embargo, una característica importante de las cargas ubicadas en ciertos campos es que están en libertad de moverse bajo la influencia del campo y, por lo tanto, constituyen un flujo de corriente de cargas de un lugar a otro. A esta rama de la física la llamamos *electricidad en movimiento,* y será el tema de este capítulo.

Sección 1. Movimiento de cargas en campos eléctricos
Iones positivos y negativos
Electrones de conducción
Dirección de la corriente eléctrica

1. Los átomos están constituidos por partículas más pequeñas llamadas electrones, protones y neutrones.
Un neutrón *no tiene* carga eléctrica.
Un electrón tiene una carga (positiva/negativa) de 1 (culombio/carga

elemental). Un protón tiene una carga (positiva/negativa) de 1 (culombio/carga elemental).

* * * * *

negativa; carga elemental; positiva; carga elemental

2. Desde fuera, los átomos parecen *no tener* carga. Esto se debe a que tienen igual número de (protones y neutrones/protones y electrones/electrones y neutrones) y a que los neutrones (tienen una carga positiva/tienen una carga negativa/no tienen ninguna carga).

* * * * *

protones y electrones; no tienen ninguna carga

3. Un átomo que ha ganado o perdido uno o más electrones se llama *ion*. Una partícula alfa es un átomo de helio que ha perdido dos electrones. Una partícula alfa (es/no es) un ion.

* * * * *

es

4. Un átomo que ha perdido uno o más electrones queda (cargado positivamente/cargado negativamente/sin ninguna carga). Tal átomo se llama .....

* * * * *

cargado positivamente; ion

5. Una partícula alfa es un ion *positivo* del átomo de helio; es decir, un átomo de helio que ha (perdido/ganado) electrones.

* * * * *

perdido

6. El sodio es un elemento cuyos átomos pierden fácilmente electrones. Un átomo de sodio que ha perdido un electrón, es un ..... (positivo/negativo).

* * * * *

ion; positivo

7. Los átomos de cloro fácilmente ganan electrones extra. Un átomo de cloro que ha ganado un electrón extra, es un ..... (positivo/negativo).

* * * * *

ion; negativo

8. Veamos el Panel 21. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

R

9. Vea la Fig. 1. del Panel 21. Cuando los rayos X chocan con los átomos del gas y desprenden electrones de éstos, se forman iones (positivos/negativos), que continúan moviéndose hacia la placa (positiva/negativa) mientras la fuente de fem mantenga un .... eléctrico entre las placas.

* * * * *

positivos; negativa; potencial o campo

10. Panel 21. *El movimiento de cargas en un campo eléctrico constituye una corriente eléctrica.* En la Fig. 1, el movimiento de (átomos/iones) del gas es lo que constituye una corriente eléctrica.

* * * * *

iones

11. Panel 21, Fig. 1. El movimiento de iones que constituye aquí una corriente eléctrica, es hacia la placa (positiva/negativa). Siempre que un átomo de este gas está ionizado por un rayo X, se ha liberado a uno o más ..... del átomo. Bajo la influencia del campo eléctrico, éstos se mueven hacia la placa (positiva/negativa).

* * * * *

negativa (puesto que son iones positivos, se mueven hacia la placa *negativa);* electrones; positiva (puesto que los electrones están cargados *negativamente* y, por lo tanto, son atraídos por la placa positiva).

12. Panel 21, Fig. 1. Los electrones liberados de los átomos de este gas al ser ionizados, constituyen una corriente eléctrica; (cierto/falso). Explique su respuesta.

* * * * *

cierto (porque son cargas en movimiento, y éstas constituyen una corriente eléctrica).

13. Panel 21. Vea la Fig. 2. La batería es una ..... de ..... que mantiene un potencial eléctrico entre las placas a las que se conecta. Las placas están sumergidas en una solución cuyos iones (están/no están) en libertad de moverse.

* * * * *

fuente (de) fem; están

14. Panel 21, Fig. 2. Bajo la influencia del campo eléctrico, los iones de hidrógeno se van a la placa (positiva/negativa) y los de cloro se van a la placa (positiva/negativa).

* * * * *

negativa; positiva

15. En una solución que contenga iones positivos y negativos, éstos se mueven bajo la influencia de un ..... Este movimiento constituye lo que llamamos ..... eléctrica.

* * * * *

campo *o* potencial eléctrico; corriente

16. Panel 21. A veces, los electrones que están en la superficie de un metal se comportan como las moléculas de la superficie del agua contenida en un recipiente. Conforme el agua se va calentando, es probable que (mayor/menor) cantidad de ella se evapore hasta que finalmente la temperatura del agua sea lo suficientemente alta para que un gran número de moléculas se e.....n. En la Fig. 3, cuando la batería *A* calienta el filamento, es (más/menos) probable que se desprendan electrones de su superficie.

* * * * *

mayor; evaporen; más

17. Panel 21, Fig. 3. Finalmente, el filamento se calienta lo suficiente para evaporar ..... los cuales, entonces, se mueven bajo la influencia del potencial eléctrico que suministra la batería (*A*/*B*), dirigiéndose hacia lo que en esta figura llamamos .....

* * * * *

electrones; *B*; placa

18. Panel 21, Fig. 3. La producción de electrones libres mediante el calentamiento de un filamento metálico a altas temperaturas, se llama *emisión termoiónica.* Los electrones producidos en la Fig. 1 (son/no son) el resultado de la emisión termoiónica.

* * * * *

no son

19. El prefijo "termo" (obsérvelo en *termostato, termómetro,* etc.) se refiere al hecho de que en la emisión ..... de electrones, el f..... debe ser calentado a altas temperaturas.

* * * * *

termoiónica; filamento

20. Panel 21. En la Fig. 3, los electrones que van del filamento calentado a la placa constituyen una .....

* * * * *

corriente eléctrica

21. Es una característica de las substancias llamadas metales, el que sus átomos tengan ciertos electrones (llamados electrones *de conducción)* que están sólo débilmente unidos al resto del átomo y que, por lo tanto, (están/no están) en libertad de moverse bajo la influencia de un campo eléctrico.

* * * * *

están

22. Los átomos (iones, estrictamente hablando) que de otro modo constituyen un metal, están colocados en un arreglo llamado *malla.* Cuando se aplica un potencial eléctrico entre los extremos de un conductor metálico, los (iones en la malla/electrones de conducción) se mueven bajo la influencia del campo y constituyen una corriente eléctrica.

* * * * *

electrones de conducción

23. Panel 21. En un trozo de alambre de cobre cuyos extremos estén unidos a las terminales de una batería, los electrones de .... se dirigen hacia la terminal (positiva/negativa).

* * * * *

conducción; positiva (porque los electrones están cargados negativamente y, por lo tanto, se dirigen a la terminal positiva).

24. Panel 21. En la Fig. 1, los ..... libres se dirigen a la placa positiva y los ..... positivos se dirigen a la placa .... En la Fig. 2, las partículas cargadas que están en libertad de moverse son (iones solamente/electrones solamente/iones y electrones). En la Fig. 3, las partículas cargadas que se dirigen a la placa son (iones/electrones/iones y electrones).

* * * * *

electrones; iones; negativa; iones solamente; electrones

25. Si se mantiene un potencial eléctrico a través de un conductor metálico sólido, la corriente eléctrica es suministrada por el movimiento de ..... hacia el extremo (positivo/negativo) del conductor. Los *iones* en la ..... (están/no están) en libertad de moverse bajo la influencia del campo eléctrico.

* * * * *

electrones de conducción; positivo; malla; no están

26. El panel 21 nos muestra que, *de hecho,* una corriente eléctrica puede ser el resultado de cargas positivas moviéndose en una dirección, o de cargas negativas moviéndose en la otra, o ambas clases moviéndose en direcciones opuestas. Sin embargo, es conveniente asignar a *todas* las corrientes eléctricas un *sentido* o *dirección* única. Por convención supondremos que *todas* las corrientes eléctricas fluyen de (+) a (−). En la Fig. 3 del Panel 21, los electrones *realmente* se mueven de izquierda a derecha, es decir, de (−) a (+). *Por convención,* consideraremos que el movimiento que produce la corriente eléctrica es de (izquierda a derecha/derecha a izquierda).

* * * * *

derecha a izquierda

27. Una carga positiva moviéndose en una dirección equivale en casi todos sus efectos externos a una carga negativa que se mueve en dirección opuesta. Por esta razón podemos suponer que *toda* corriente eléctrica va de [(+) a (−)/(−) a (+)]. En un campo eléctrico, cuando los electrones son los portadores de la carga, realmente se mueven de [(+) a (−)/(−) a (+)]; nuestra convención requiere que consideremos que la corriente que producen vaya de [(+) a (−)/(−) a (+)].

* * * * *

(+) a (−); (−) a (+); (+) a (−)

28. Panel 21. En la fig. 3, el haz de electrones que se dirigen del filamento a la placa constituye una corriente eléctrica que, por convención, suponemos que fluye (del filamento/de la placa)) hacia (el filamento/la placa).

* * * * *

de la placa; el filamento

29. Panel 21, Fig. 2. En esta figura, el movimiento de iones Cl^- de derecha a izquierda, constituye una corriente eléctrica de (derecha/izquierda) a (derecha/izquierda). El movimiento de iones H^+ de izquierda a derecha, constituye una corriente eléctrica de (derecha/izquierda) a (derecha/izquierda).

* * * * *

izquierda; derecha; izquierda; derecha

30. Panel 21. La Fig. 4 es una sección de un conductor metálico a través del cual se mantiene un campo eléctrico $\vec{E}$ en la dirección indicada. Bajo la influencia del campo, los .....

se mueven a una velocidad de arrastre $\vec{v}_d$ cuya dirección es (paralela/paralela y opuesta) a $\vec{E}$.

* * * * *

electrones de conducción; paralela y opuesta

31. Panel 21. En la Fig. 4, la corriente eléctrica fluye en sentido (dirección) (igual/opuesto) a la dirección real de $\vec{v}_d$.

* * * * *

opuesto

Sección 2. Definición cuantitativa de la corriente eléctrica: $i = \frac{Q}{t}$ Unidades: El amperio; densidad de corriente: $j = \frac{i}{A}$

1. El movimiento de iones positivos y negativos y electrones descrito en el Panel 21 constituye en todos los casos corrientes eléctricas, puesto que representan un movimiento de .... bajo la influencia de un ..... eléctrico mantenido por una fuente de .....

* * * * *

cargas o partículas cargadas; potencial; fem

2. Panel 21. Imaginémonos un plano perpendicular al campo eléctrico de la Fig. 1 (es decir, extendiéndose desde afuera hacia adentro de la página). Los electrones que se mueven de izquierda a derecha a través de este plano se consideran, por convención, equivalentes a las cargas (positivas/negativas) que se mueven de derecha a izquierda.

* * * * *

positivas

3. Panel 21, Fig. 1. A la corriente i que pasa a través de este plano imaginario la definimos como la *carga positiva total* Q que pasa a través del plano en el tiempo t, dividida entre el tiempo t. En símbolos, $i =$ ....

* * * * *

$\frac{Q}{t}$

4. Panel 21, Fig. 1. Supóngase que los iones formados aquí son iones H^+ y que 3×10^4 de ellos pasan a través de nuestro plano imaginario en 5 segundos. Supóngase además, que durante el mismo tiempo, 3×10^4 electrones pasan a través del plano, de derecha a izquierda. Por convención consideramos a la corriente eléctrica producida por los electrones como si fuera producida por el mismo número de cargas positivas que se movieran de (derecha a izquierda/izquierda a derecha). Entonces, la supuesta carga positiva total que se mueve a través del plano en 5 seg. es de ..... cargas elementales.

* * * * *

izquierda a derecha; $(3 \times 10^4) + (3 \times 10^4) = 6 \times 10^4$

5. La corriente que pasa por el plano en el cuadro anterior es de .... *(número y unidad).*

* * * * *

$$\frac{6 \times 10^4 \text{ ce}}{5 \text{ seg}} = 1.2 \times 10^4 \text{ ce/seg}$$

6. Panel 21, Fig. 3. Supóngase que nuevamente ponemos un plano imaginario perpendicular a este campo y que pasan por él 6×10^8 electrones de izquierda a derecha en 3 seg. Esto significa que la carga positiva total que se supone que pasa de derecha a izquierda en 3 seg es de ..... cargas elementales y que la corriente eléctrica que pasa a través del plano es de ..... *(número y unidades).*

* * * * *

6×10^8

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{6 \times 10^8 \text{ ce}}{3 \text{ seg}} = 2 \times 10^8 \text{ ce/seg}$$

7. Panel 21. Ponemos nuestro plano imaginario perpendicular al campo de la Fig. 2. A través de él pasa una carga positiva total de 2.5 culombios en 10 seg. La corriente que pasa a través del plano es $i =$ .... *(número y unidad).*

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{2.5 \text{ culombios}}{10 \text{ seg}} = 0.25 \text{ culombios/seg}$$

8. La carga elemental por segundo y los culombios por segundo son unidades empleadas para medir (la carga/la corriente/el potencial) eléctrico(a).

* * * * *

la corriente

9. El culombio por segundo es una unidad que se usa frecuentemente en física y en ingeniería eléctrica y se le ha dado el nombre de *amperio* (abreviándose: amp). El amperio es una unidad empleada para medir (la carga/el potencial/la corriente/la fuerza) eléctrico(a).

* * * * *

la corriente

10. Panel 21, Fig. 4. Supongamos un plano imaginario perpendicular a este conductor y que pasan a través de él 1,000 culombios de carga en 4.5 minutos. Calcule la corriente en *amperios* que pasa a través de este plano.

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{1000 \text{ culombios}}{(4.5)\,(60) \text{ seg}} = \frac{1000 \text{ culombios}}{270 \text{ seg}} = 3.7 \text{ amperios}$$

11. $1 \text{ amperio} = \dfrac{1 \text{ culombio}}{1 \text{ seg}}$

1 culombio = ... cargas elementales

1 amperio = ... cargas elementales/seg.

* * * * *

6.25×10^{18}; 6.25×10^{18}

12. Panel 21, Fig. 4. Una carga Q pasa a través del área de la sección A, en un tiempo t. La corriente a través de A está dada por la ecuación: $i =$ ..... Si Q se mide en culombios, t debe medirse en (o convertirse a) ..... si i se va a medir en amperios.

* * * * *

$\dfrac{Q}{t}$; segundos

13. Panel 21, Fig. 4. Una carga de 2000 culombios pasa a través de A en 1.5 horas. Calcule la corriente en amperios a través de A.

* * * * *

$t = 1.5 \text{ horas} = (1.5)\,(3600) \text{ seg}$

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{2000 \text{ cul}}{5400 \text{ seg}} = 0.37 \text{ amp.}$$

14. Panel 21, Fig. 4. Si a través de A pasa una corriente de 10 amperios, ¿qué tiempo se requiere (en segundos) para que pasen a través de A, 1500 culombios de carga?

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t}$$

$$t = \frac{Q}{i} = \frac{1500 \text{ cul}}{10 \text{ cul/seg}} = \mathbf{150 \text{ seg}}$$

15. Panel 21, Fig. 4. Si la corriente que pasa a través de A es de 2.5 amp, ¿qué carga, en culombios, pasa a través de A en 7 min?

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t};\ Q = it$$

$t = 7 \text{ min} = (7)(60) \text{ seg} = 420 \text{ seg}$

$Q = (2.5 \text{ cul/seg})(420 \text{ seg}) = 1050 \text{ culombios}$

16. Otra cantidad física importante es la *densidad j de la corriente,* que es la razón de la corriente al área de la sección a través de la cual está pasando dicha corriente. En el Panel 21, Fig. 4, una corriente i pasa a través de A. En este conductor, $j =$ ..... *(use símbolos).*

* * * * *

$$\frac{i}{A}$$

17. Un trozo de alambre porta una corriente de 1.8 amp. Si al área de su sección es 0.02 cm², la densidad de corriente será: $j =$ .... *(número y unidades).*

* * * * *

$$j = \frac{i}{A} = \frac{1.8 \text{ amp}}{0.02 \text{ cm}^2} = 90 \text{ amp/cm}^2$$

18. La densidad de corriente en un alambre conductor se define como la razón .....

* * * * *

i/A

19. La densidad de corriente en un trozo de alambre es 650 amp/cm². El área de la sección transversal del alambre es 0.3 cm². La corriente en el alambre es ..... amp.

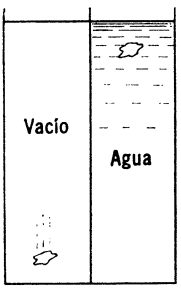
* * * * *

$$j = \frac{i}{A}$$

$i = jA = (650 \text{ amp/cm}^2)(0.3 \text{ cm}^2) = 195 \text{ amp}$

Sección 3. Resistencia eléctrica
Velocidad media de arrastre en un conductor metálico
Potencial eléctrico en un alambre
Definición de resistencia eléctrica: $R = \frac{V}{i}$
Resistividad: $P = \frac{E}{j}$
$R = \rho \frac{l}{A}$
Temperatura y resistencia eléctrica

1.



Desde una altura, en el vacío, se deja caer una piedra; ésta (encuentra/no encuentra) resistencia y, por tanto (se/no se) acelera en su caída.

* * * * *

no encuentra; se

2. Refirámonos a la figura del cuadro anterior. Si dejamos caer la piedra a través de agua, encuentra una resistencia que rápidamente iguala a su peso, a partir de lo cual la piedra cae con una rapidez (constante/acelerada).

* * * * *

constante

3. Vea la figura del cuadro 1. Cuando la piedra ha caído, en el vacío, hasta abajo, toda la energía potencial que tenía en la parte superior, al llegar abajo se ha convertido en energía .....

* * * * *

cinética

4. Esta energía cinética es entonces disipada en forma de ....., el cual eleva la ..... de la piedra y de la superficie con la que choca.

* * * * *

calor; temperatura

5. Vea la figura del cuado 1. La piedra que está dentro del agua, al caer nunca alcanza la energía ..... que obtiene si cae en el vacío. La mayor parte de su energía potencial se emplea en vencer la ..... del agua, y es disipada continuamente en forma de calor, mismo que eleva la temperatura de la ..... y del .....

* * * * *

cinética; resistencia, o fricción, o similar; piedra; agua

6. Vea el Panel 21, Fig. 3. Estos electrones se desplazan en el vacío. Cuando cruzan el campo eléctrico (se aceleran continuamente/primero se aceleran y después se desplazan a velocidad constante).

* * * * *

se aceleran continuamente

7. Panel 21, Fig. 3. Cuando los electrones chocan con la placa, su energía ..... se usa para ..... la placa y elevar su .....
.....

* * * * *

cinética; calentar; temperatura

8. Los electrones de conducción en un alambre metálico se mueven bajo la influencia de un campo eléctrico. Sin embargo, continuamente chocan con los iones que forman la malla del metal. Estos choques con la malla tienen sobre el movimiento de los electrones de conducción, el mismo efecto externo que el agua sobre la piedra que cae a través de ella. Los electrones de conducción: *(a)* continúan acelerándose hasta que llegan al extremo del alambre; *(b)* se mueven en forma tal, que dan el efecto de una corriente constante en todo el alambre.

* * * * *

(b)

9. Los electrones de conducción en un conductor metálico no son acelerados continuamente por las fuerzas del campo eléctrico porque encuentran una "resistencia" debida a los choques con los ..... de la
.....

* * * * *

iones; malla

10. El efecto total de los choques de los electrones de conducción con la celosía de un conductor metálico es aumentar la ..... del conductor. La mayor parte de la energía cinética de los electrones de conducción es disipada en forma de .....

* * * * *

temperatura; calor

11. Panel 21. En la Fig. 4, la corriente eléctrica que pasa a través de diferentes secciones transversales a lo largo de la longitud l, es (constante/variable).

* * * * *

constante

12. Cuando *no existe* un campo eléctrico, los electrones de conducción en un trozo de alambre se mueven al azar, como las moléculas de un gas; esto significa que (existe/no existe) una tendencia a que más electrones se muevan en una dirección más que en cualquiera otra.

* * * * *

no existe

13. Cuando se aplica un potencial eléctrico entre los extremos de un alambre conductor, los electrones de conducción adquieren una componente de la velocidad llamada *velocidad de arrastre del electrón* ($\vec{v}_d$ en la Fig. 4 del Panel 21), que es (paralela/paralela y opuesta/perpendicular) al campo eléctrico en el alambre. Para el efecto externo que llamamos ..... eléctrica, lo que cuenta es (el movimiento al azar/la velocidad de arrastre).

* * * * *

paralela y opuesta; corriente; la velocidad de arraste

14. Veamos el Panel 22. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

M

15. Lea cuidadosamente al Panel 22; describe un procedimiento para calcular la velocidad (al azar/de arrastre) de (todos los electrones/los electrones de conducción) en un alambre conductor.

* * * * *

de arrastre; los electrones de conducción

16. Panel 22. La variable n que aparece en la ecuación (3) representa el número de ..... por unidad de .....

..... del material de que está hecho el alambre, y es: *(a)* la misma para todos los metales; *(b)* diferente para cada metal.
* * * * *

electrones de conducción; volumen; *(b)*

17. Panel 22. La ecuación (3) indica que la velocidad media de arrastre de los electrones de conducción, depende de los siguientes factores *(escoja cuantos se apliquen):*

(a) la longitud del alambre,
(b) la corriente en el conductor,
(c) la clase de material de que está hecho el conductor,
(d) el área de la sección transversal del conductor.

* * * * *

(b); (c); (d)

18. Panel 22. Comparada con la velocidad al azar de los electrones de conducción, su rapidez media de arrastre es (muy pequeña/muy grande/aproximadamente igual).
* * * * *

muy pequeña (10^{-2} cm/seg, comparada con 10^{8} cm/seg)

19. Panel 22. Sabemos que la "electricidad", es decir, la transferencia de energía a través de un alambre, tiene una velocidad mucho mayor que 10^{-2} cm/seg. Esto significa que para transferir energía eléctrica, (es/no es) necesario que cada electrón se mueva de un extremo al otro de un alambre.
* * * * *

no es

20. En este sentido, la transferencia de energía a través de un conductor es similar a la que tiene lugar mediante el movimiento de las ondas. En un movimiento de ondas (por ejemplo, el sonido), las partículas del medio en que se propaga una onda recorren distancias muy (cortas/largas) en el mismo tiempo en que la onda en sí recorre distancias relativamente (cortas/largas).
* * * * *

cortas; largas

21. Hemos visto que los electrones de conducción en un alambre, encuentran una ..... similar en sus efectos externos a la que encuentra una piedra que cae a través del agua.
* * * * *

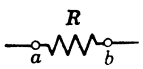
resistencia

22. Definimos la resistencia eléctrica R entre dos puntos de un conductor aplicando una diferencia de potencial V entre estos puntos, midiendo la corriente i y encontrando el cociente de la diferencia de potencial dividida entre la corriente: $R =$ .....

* * * * *

$\frac{V}{i}$

23.



El símbolo —WW— representa una resistencia específica que nos interesa. Cuando hay una diferencia de potencial de 10 voltios entre los puntos a y b, fluye una corriente de 5 amperios en la resistencia; entonces, la resistencia es R = ... *(número y unidades).*

* * * * *

$$R = \frac{V}{i} = \frac{10 \text{ voltios}}{5 \text{ amperios}} = 2 \text{ v/amp}$$

24. El voltio por amperio se encuentra frecuentemente en física, en electricidad práctica y en ingeniería eléctrica, y se llama comúnmente *ohmio,* empleando la omega mayúscula para representarlo Ω. El ohmio es una unidad empleada para medir (carga/campo/corriente/resistencia/potencial) eléctrico(a).

* * * * *

resistencia

25. 4 Ω es la abreviación de una resistencia de 4 .....

* * * * *

ohmios

26. Cuando se aplica una diferencia de potencial de 30 voltios entre los extremos de un alambre, pasa por un conductor una carga de 1000 culombios en 25 minutos. Calcule la corriente i en el alambre y su resistencia R.

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{1000 \text{ cul}}{(25)(60) \text{ seg}} = \frac{1000 \text{ cul}}{1500 \text{ seg}} = \frac{2}{3} \text{ o } 0.67 \text{ amp}$$

$$R = \frac{V}{i} = \frac{30 \text{ voltios}}{\frac{2}{3} \text{ amp}} = 45 \Omega$$

27. Entre los puntos *a* y *b* de un alambre hay una resistencia de 500 Ω. Si la diferencia de potencial entre dichos puntos es de 100 voltios, calcule la corriente que hay en el alambre.

* * * * *

$$i = \frac{V}{R} = \frac{100 \text{ voltios}}{500 \text{ ohmios}} = 0.2 \text{ amp}$$

28. Vea el Panel 23. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

Q

29. Panel 23. Lea el párrafo descriptivo de la tabla 1 y examine la tabla. Estos alambres difieren entre sí únicamente en su ..... eléctrica y en el ..... de que están fabricados.

* * * * *

resistencia; material

30. Panel 23, tabla 1. De los tres materiales ensayados aquí, la resistencia eléctrica del ..... fue la más alta y la del ..... fue la más baja. La tabla parece mostrar que diferentes metales de igual longitud y sección transversal, ofrecen (la misma/diferente) resistencia al flujo de corriente eléctrica.

* * * * *

acero; cobre; diferente

31. Esta propiedad específica de un metal se llama *resistividad,* y se representa con la letra griega ro (ρ); se define como la razón del campo eléctrico E entre dos puntos de un conductor, a la densidad de corriente j en el alambre. $\rho =$ ..... *(en símbolos).*

* * * * *

$$\frac{E}{j}$$

32. Sean E el campo eléctrico y j la densidad de corriente en un alambre conductor. La razón E/j es una medida de la ..... del material de que está hecho el alambre y empleamos la letra ..... para representarla.

* * * * *

resistividad; ρ (ro)

33. La razón del potencial eléctrico entre dos puntos de un alambre a su campo, podemos tratarla en la misma forma en que hemos tratado al potencial eléctrico entre dos placas paralelas con cargas iguales y opuestas. En la Fig. 4 del Panel 21, el potencial eléctrico V que hay en la longitud l del conductor es $V =$ .... *(en función de l y E).*

* * * * *

$V = El$

34. (1) $\rho = \frac{E}{j}$. (2) El campo eléctrico entre dos puntos de un conductor separados por una longitud l y con una diferencia de potencial V entre ellos, es $E =$ .... *(en función de V y l).* (3) $j =$ .... *(en función de i y del área A de la sección).*

* * * * *

$\frac{V}{l}; \frac{i}{A}$

35. (1) $\rho = \frac{E}{j}$. (2) $E = \frac{V}{l}$. (3) $j = \frac{i}{A}$.

(4) Sustituyendo (2) y (3) en (1), $\rho =$ ..... *(reduzca a una fracción simple).*

* * * * *

$\frac{E}{j} = \frac{V/l}{i/A} = \frac{VA}{il}$

36. (1) $\rho = \frac{E}{j}$. (2) $\rho = \frac{VA}{il}\left(\frac{V}{i}\right)\left(\frac{A}{l}\right)$

(3) Puesto que: $\frac{V}{i} = R$,

(4) $\rho = R\frac{A}{l}$. (5) Despejando R en (4): $R =$ .....

* * * * *

$\rho\frac{l}{A}$

37. $R = \rho\frac{l}{A}$. Esta es una ecuación útil que indica que la resistencia de un alambre es (directamente/inversamente) proporcional al área de su sección transversal, y (directamente/inversamente) proporcional a su lon-

gitud. ρ representa la cantidad física llamada ..... del metal de que está hecho el alambre.

* * * * *

inversamente; directamente; resistividad

38. Partiendo de la definición de resistencia eléctrica: $R = \frac{V}{i}$, decimos que $i = \frac{V}{R}$. Puesto que $R = \rho \frac{l}{A}$, podemos anticipar que, dada una longitud y una diferencia de potencial constantes, la corriente en un alambre es (directamente/inversamente) proporcional al área de su sección transversal.

* * * * *

directamente

39. A mayor "espesor" de una muestra de alambre (mayor/menor) corriente transportará a una diferencia de potencial dada.

* * * * *

mayor

40. Panel 23. Vea la tabla 2. Observe las unidades empleadas en la tabla; podemos deducirlas como sigue: (1) $R = \rho \frac{l}{A}$; (2) $\rho = \frac{RA}{l}$. Si R está en ohmios, A en m^2 y l en m, entonces $\rho = \frac{(\text{ohmio})\,(m^2)}{m} =$ .....

.....

* * * * *

ohmio-metro

41. Panel 23, tabla 2. Para usar ρ como se da en *esta* tabla para encontrar R en la ecuación, $R = \rho \frac{l}{A}$, l debe medirse en .....

(unidades) y A en ..... *(unidades)*. R se medirá en ..... *(unidades)*.

* * * * *

metros; metros cuadrados o m^2; ohmios

42. Panel 23, tabla 2. Observe también que estos valores de resistividad son para (cualquier temperatura/una temperatura específica). Esto sugiere que la resistividad (cambia/permanece constante) con los cambios de temperatura.

* * * * *

una temperatura específica; cambia

43. Panel 23. En efecto, el experimento muestra que la resistividad de *la mayoría* de los metales aumenta y disminuye con correspondientes aumentos y disminuciones de temperatura. A 50° C, la mayoría de los valores de ρ en la tabla 2 serían (mayores/menores/iguales) que a 20° C. A 0° C la mayoría de los valores de ρ en la tabla 2 serían (mayores/menores/iguales) que a 20° C.

* * * * *

mayores; menores. (En esta tabla el carbón es la excepción, pues al aumentar su temperatura su resistividad *disminuye.)*

44. Cuando el cambio de temperatura es pequeño, el cambio en la resistividad es también muy pequeño. Por ejemplo, en la cercanía de 20° C la resistividad del cobre cambia con un factor de aproximadamente 4×10^{-3} por grado C. Calcule el cambio en ρ del cobre, cuando la temperatura sube a 21° C.

* * * * *

$(4 \times 10^{-3})(1.7 \times 10^{-8}) = 6.8 \times 10^{-11}$ ohmio-m

45. Veamos el Panel 24. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

K

46. Panel 24. Lea el problema 1. Tenemos una ecuación que relaciona a R con l, A y la resistividad de cualquier material específico. Es: $R =$ ..... Si usamos ρ de la tabla 2 del Panel 23, l debe medirse en ..... *(unidades)* y A en ..... *(unidades).*

* * * * *

$\rho \dfrac{l}{A}$, metros; m^2

47. Panel 24. Calcule la respuesta en ohmios al problema 1.

* * * * *

$$R = \rho \frac{l}{A} = (1.7 \times 10^{-8}) \frac{(30)}{5 \times 10^{-6}} = 10.2 \times 10^{-2} = 0.102 \text{ ohmio}$$

48. Panel 24. Lea el problema 2. $R = \rho \dfrac{l}{A}$.

Despejando l en la ecuación anterior: $l =$ ..... Sustituya con los datos del problema y de la tabla y calcule l en metros.

* * * * *

$$l = \frac{RA}{\rho}; \; l = \frac{(50)(2 \times 10^{-6})}{1.8 \times 10^{-7}} = 560 \text{ m}$$

49. Panel 24. Lea el problema 3. Calcule la resistencia, a partir de la diferencia de potencial y la corriente. $R =$ ..... ohmios.

* * * * *

$$R = \frac{V}{i} = \frac{1500 \text{ voltios}}{2 \times 10^{-3} \text{ amp}} = 7.5 \times 10^5 \text{ ohmios}$$

50. Panel 23, problema 3. Si se da una resistencia eléctrica de 7.5×10^5 ohmios, calcule ahora la sección del alambre.

* * * * *

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$A = \frac{\rho l}{R} = \frac{(2.8 \times 10^{-8})(100)}{7.5 \times 10^5} = 3.74 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

51. Panel 24. Lea el problema 4.
$A =$ ..... m^2; $l =$ ..... m; $R =$ ..... ohmios.

* * * * *

$1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$

$A = 0.5 \text{ mm}^2 = \mathbf{0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$

$l = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$

$$R = \frac{(1.6 \times 10^{-8})(0.1)}{0.5 \times 10^{-6}} = 3.2 \times 10^{-3} \text{ ohmio}$$

52. Panel 24. Lea el problema 5. Hemos visto que la resistencia eléctrica de un alambre es (directamente/inversamente) proporcional a su longitud. El segundo alambre es ..... *(número)* veces la longitud del primero, permaneciendo constantes todos los demás factores que afectan la resistencia. La resistencia del segundo alambre es de ..... ohmios.

* * * * *

directamente; 3 o tres; 1500

53. Panel 24. Lea el problema 6. Hemos visto que la resistencia de un alambre conductor es (directamente proporcional al/inversamente proporcional al/independiente del) área de su sección. La sección del segundo alambre es ..... *(número)* veces la sección del primero. Bajo la condición descrita en este problema, la resistencia del segundo es de ..... ohmios.

* * * * *

inversamente proporcional a; ½ o un medio; 100

54. Panel 24. Lea el problema 7. Sean R_1, l_1 y A_1 respectivamente, la resistencia, la longitud y la sección del primer alambre, y R_2, l_2 y A_2 los valores correspondientes para el segundo alambre. Si ρ es la resistividad del material a la temperatura en el experimento, escriba separadamente las fórmulas para R_1 y para R_2. $R_1 =$ .....; $R_2 =$ .....

* * * * *

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{A_1};\ R_2 = \rho \frac{l_2}{A_2}$$

55. Panel 24, problema 7.

(1) $R_1 = \rho \dfrac{l_1}{A_1}$. (2) $R_2 = \rho \dfrac{l_2}{A_2}$.

(3) Divida (1) entre (2). Después de cancelar factores iguales y simplificar: $\dfrac{R_1}{R_2} =$ .....

* * * * *

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho(l_2/A_2)}{\rho(l_1/A_1)} = \frac{l_2 A_1}{l_1 A_2}$$

56. Panel 24, problema 7. Usando la ecuación que se dedujo en el cuadro anterior, calcule la resistencia del segundo alambre.

* * * * *

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2 A_1}{l_1 A_2}$$

$$\frac{R_2}{5} = \frac{(100)(2 \times 10^{-6})}{(2)(5 \times 10^{-6})}$$

$$R_2 = (5)\frac{(100)(2 \times 10^{-6})}{(2)(5 \times 10^{-6})} = \mathbf{100\ ohmios}$$

Sección 4. La ley de Ohm

1. Veamos el Panel 25. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

F

2. Lea la descripción de la Fig. 1; es una gráfica de la corriente eléctrica a través de un (conductor sólido/líquido/gas), en función de la diferencia de potencial. Examine la relación que guardan i y V, de iz-

quierda a derecha. Al principio la corriente aumenta (lentamente/rápidamente) con un pequeño cambio de potencial; en seguida aumenta (lentamente/rápidamente) entre los 1000 y los 10,000 voltios. Después de 11,000 a 12,000 voltios, la corriente (aumenta/disminuye) (lentamente/rápidamente) con un pequeño cambio de potencial.

* * * * *

gas; rápidamente; lentamente; aumenta; rápidamente

3. Panel 25. La Fig. 2 muestra la relación *i-V* que hay en lo que se llama un *diodo,* o sea un *f* ..... calentado y una *p* ..... que están en (un gas/el vacío) y separados por una diferencia de potencial. Note que la corriente en el diodo (depende/es independiente) de la temperatura del filamento.

* * * * *

filamento; placa; el vacío; depende

4. Panel 25, Fig. 2. Cuando la temperatura del filamento es de aproximadamente 1600° C, el aumento es (lento/rápido) y (uniforme/no uniforme). A mayor temperatura del filamento, la corriente al principio aumenta (rápidamente/lentamente), y después (aumenta lentamente/disminuye/permanece constante).

* * * * *

lento; uniforme; rápidamente; aumenta lentamente

5. Panel 25. La Fig. 3 es una gráfica de la relación que guarda la corriente con la diferencia de potencial, a (la misma temperatura/diferentes temperaturas) en un (gas/diodo/conductor sólido).

* * * * *

diferentes temperaturas; conductor sólido

6. Panel 25, Fig. 3. Note que la curva *i-V* para cada temperatura es una línea (recta/quebrada/curva). Esto significa que, a una temperatura específica, la pendiente $\frac{i}{V}$ es (constante/variable).

* * * * *

recta; constante

7. Recordemos que la resistencia de un conductor es $\frac{V}{i}$. La Fig. 3 del Panel 25 nos indica que a una temperatura constante, la resistencia de este conductor sólido (varía/no varía) con la diferencia de potencial.

* * * * *

no varía (porque la Fig. 3 muestra que $\frac{i}{V}$ es una constante, por lo tanto $\frac{V}{i} = R$ también debe ser constante.)

8. Panel 25. Este resultado, indicado gráficamente en la Fig. 3, es una propiedad importante de la mayoría de los conductores metálicos, y con frecuencia se le llama *ley de Ohm.* La ley de Ohm expresa que la ..... de la mayoría de los conductores metálicos es constante (a una temperatura específica), sin importar qué diferencia de potencial se aplique para medirla.

* * * * *

resistencia

9. Panel 25. La resistencia de los dispositivos cuyas gráficas i contra V se ilustran en las figuras 1 y 2 (varía/permanece constante) al variar la diferencia de potencial empleada para medir la resistencia. Los dispositivos (obedecen/no obedecen) a la ley de Ohm.

* * * * *

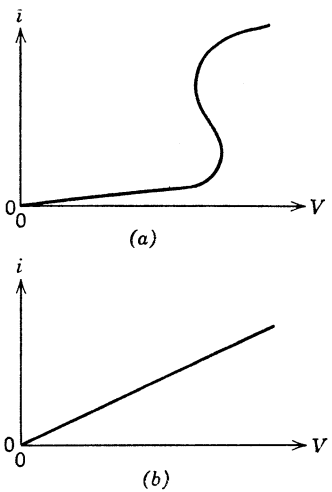
varía; no obedecen

10. La resistencia de un conductor metálico es siempre igual, sin importar qué diferencia de potencial se emplee para medirla. Este es un enunciado de la ley de ..... Esta ley (se aplica/no se aplica) a los diodos.

* * * * *

Ohm; no se aplica

11. La ley de Ohm es importante en los casos en que se aplica; se aplica a la mayoría de los conductores metálicos, pero no a todos. La Fig. *(a)* es la gráfica i contra V de un metal llamado termistor.



La fig. *(b)* es la gráfica i contra V de un metal llamado mercurio. El mercurio (obedece/no obedece) la ley de Ohm. El termistor (obedece/no obedece) la ley de Ohm.

* * * * *

obedece; no obedece

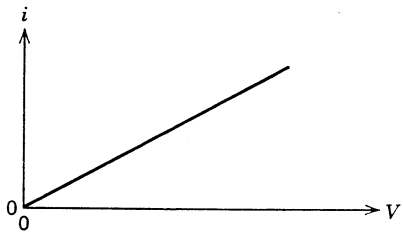
12. Un conductor metálico al que se aplique la ley de Ohm tendrá una gráfica i contra V cuya línea será (curva/quebrada/recta).

* * * * *

recta

13. A menos que se especifique lo contrario, supondremos que las resistencias metálicas son dispositivos *"óhmicos"*, es decir, que obedecen a la ley de Ohm. Trace una curva i contra V para la aleación llamada plata alemana.

* * * * *



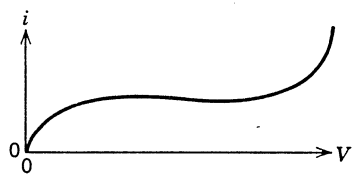
Será cualquier línea *recta* que pase por el origen

14. La ley de Ohm se aplica a conductores en los que la razón de la diferencia de potencial a la corriente es (variable/constante). Tales conductores se llaman: dispositivos .....

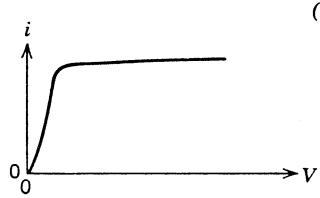
* * * * *

constante; óhmicos

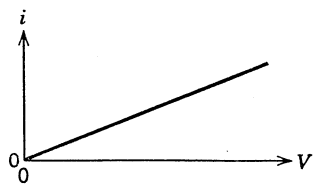
15.



(a)



(b)



(c)

(a) es una gráfica de un conductor (óhmico/no óhmico). *(b)* es una gráfica de un conductor (óhmico/no óhmico). *(c)* es una gráfica de un conductor (óhmico/no óhmico).

* * * * *

no óhmico; no óhmico; óhmico

Sección 5. Cambios de energía en un circuito eléctrico:

$$\Delta U_{ab} = qV_{ab} = itV_{ab}$$

Potencia: $P = \dfrac{\Delta U_{ab}}{t} = iV_{ab}$

Energía calorífica en una resistencia:

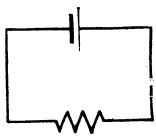
$$H = \Delta U_c = Pt = itV = i^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$

1. Emplearemos el símbolo ⊣|⊢ para representar a una batería. La barrita corta y gruesa es la terminal negativa; la delgada y larga es la terminal positiva. *Dentro* de la batería, las cargas positivas se mueven de la terminal representada por la barrita (corta/larga) hacia la terminal representada por la barrita (corta/larga).

* * * * * .

corta; larga (recuerde que la función de la batería es mover internamente cargas *en contra del* campo, aumentando así la energía potencial eléctrica).

2.



Este es un circuito eléctrico; es un dispositivo a través del cual puede fluir una corriente eléctrica. El símbolo (—WV—) representa una (batería/resistencia) en el circuito; el símbolo (⊣|⊢) representa una (batería/resistencia) en el circuito. En el circuito *externo,* la corriente eléctrica fluye de la terminal (positiva/negativa) hacia la terminal (positiva/negativa) de la batería.

* * * * *

resistencia; batería; positiva; negativa

3. Vea la figura del cuadro anterior. La corriente *dentro* de la batería es la dirección en que la carga (positiva/negativa) se mueve en la

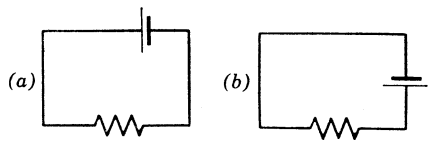
batería, y ésta es de la terminal (positiva/negativa) a la (positiva/negativa). En este circuito, la corriente eléctrica siempre fluye en el sentido (de las manecillas del reloj/contrario a las manecillas del reloj).

* * * * *

positiva; negativa; positiva; de las manecillas del reloj

4. En *(a)* la corriente fluye en el sentido (de/contrario a) las manecillas del reloj; en *(b)* la corriente fluye en el sentido (de/contrario a) las manecillas del reloj.

* * * * *



contrario a; de

5. El símbolo —⁄⁄⁄— representa un elemento del circuito llamado *resistencia.* Una resistencia es cualquier dispositivo en el que la energía potencial eléctrica es transformada en ..... Una plancha eléctrica (es/no es) una resistencia.

* * * * *

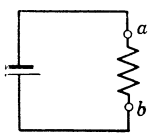
calor; es

6. En una resistencia, la energía potencial eléctrica procedente de una fuente de fem es transformada en energía .....

* * * * *

calorífica

7. El potencial eléctrico en *b* es (mayor que/menor que/igual a) el potencial eléctrico en *a.* Esto significa que una carga positiva *q,* al mo-

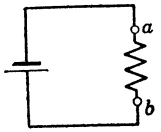


verse de *a* a *b* a través de la resistencia (pierde/gana/no pierde ni gana) energía potencial eléctrica.

* * * * *

mayor que; pierde

8. Sea V_{ba} = diferencia de potencial eléctrico de b a a. El cambio en

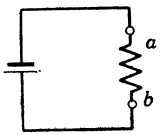


energía potencial eléctrica, al moverse la carga q de b a a, es: $\Delta U =$ ..... *(en función de la carga y de la diferencia de potencial).*

* * * * *

qV_{ba}

9. (1) $\Delta U = qV_{ba}$. (2) Dividiendo ambos miembros de (1) entre el tiempo t que emplea la carga q en moverse de b a a, obtenemos: $\frac{\Delta U}{t} =$ .....



(3) Por definición, la corriente en la resistencia es: $i =$ ..... *(use símbolos).*

* * * * *

$\frac{qV_{ba}}{t}$; $\frac{q}{t}$

10. Veamos la figura del cuadro anterior:

(1) $\Delta U = qV_{ba}$.

(2) $\frac{\Delta U}{t} = \frac{q}{t} V_{ba}$.

(3) $\frac{q}{t} = i$.

(4) $\frac{\Delta U}{t} =$ ..... *(en función de la diferencia de potencial a través de ba y la corriente en la resistencia).*

* * * * *

iV_{ba}

11. Vea la figura del cuadro 9. Definimos la *potencia* como el trabajo realizado (o los cambios correspondientes de energía potencial o ciné-

tica) *por* unidad de tiempo. La potencia usada en la resistencia entre *b* y *a* es: $P =$ ..... *(en función de t y* ΔU*).*
* * * * *

$\frac{\Delta U}{t}$

12. Vea la figura del cuadro 9. Potencia $= \frac{\Delta U}{t} =$ ..... *(en función de la corriente y la diferencia de potencial).*
* * * * *

iV_{ba}

13. La potencia usada en un elemento de un circuito, en el que fluye una corriente *i* y a través del cual hay una diferencia de potencial eléctrico *V*, está dada por la ecuación: $P =$ ..... Si el elemento del circuito es una resistencia, esta potencia es una medida de la cantidad de .... transformada en energía ..... en una unidad de .....
* * * * *

iV; energía potencial eléctrica; calorífica; tiempo

14. Hay muchos otros elementos de circuito que se podrían poner en vez de una resistencia, tales como un baño de revestimiento electrolítico, un motor eléctrico, etc. En todos los casos, la .... es transformada en alguna otra forma de ..... La rapidez con que se verifica esta transformación es una cantidad física que llamamos .....
* * * * *

energía potencial eléctrica; energía; potencia

15. Se emplean 10 julios de energía potencial eléctrica para operar un motor eléctrico durante 50 seg. La potencia usada es: $P =$ .... *(número y unidades).*
* * * * *

$$P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{10 \text{ julios}}{50 \text{ seg}} = 0.2 \text{ julios/seg}$$

16. El julio por segundo es una unidad que se usa a menudo en física, y se llama *vatio*. Una unidad mayor, que equivale a 100 julios/seg, es el kilovatio (kv). El vatio y el kilovatio son unidades empleadas para medir (energía potencial/energía cinética/trabajo/potencia/energía calorífica).
* * * * *

potencia

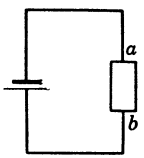
17. Una máquina hace un trabajo de 1200 julios en 0.01 seg. Calcule su potencia en vatios y en kilovatios.

* * * * *

$P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{1200 \text{ julios}}{0.01 \text{ seg}} =$ **120,000 vatios;** 1 kilovatio = 1000 vatios;

120,00 vatios = **120 kilovatios**

18. En el circuito de la figura, el elemento que está entre *b* y *a* es un baño de revestimiento electrolítico. La diferencia de potencial eléctrico



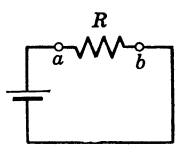
entre las terminales del baño es de 6 voltios, y la corriente de 0.5 amp. ¿Qué potencia está usándose? Muestre que las unidades que obtenga equivalgan a vatios.

* * * * *

$P = iV =$ (0.5 amp) (6 voltios); = 3.0 voltio-amp; voltio $= \dfrac{\text{julio}}{\text{culombio}}$ y

amp $= \dfrac{\text{culombio}}{\text{seg}}$; voltio-amp $= \dfrac{\text{julio}}{\cancel{\text{culombio}}} \cdot \dfrac{\cancel{\text{culombio}}}{\text{seg}} = \dfrac{\text{julio}}{\text{seg}} =$ vatio.

19. (1) $P = iV_{ab}$. (2) $i =$ ..... *(en función de* V_{ab} y R*).*



(3) Por lo tanto, $P =$ ..... *(en función de* V_{ab} *y* R*).*

* * * * *

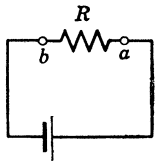
$\dfrac{V_{ab}}{R}$ (porque, por definición, $R = \dfrac{V_{ab}}{i}$); $P = \left(\dfrac{V_{ab}}{R}\right) V_{ab} = \dfrac{V_{ab}^2}{R}$

20. Veamos la figura del cuadro anterior. Sean: $V_{ab} = 10$ voltios la $R = 25$ ohmios. $P =$ ..... vatios.

* * * * *

$P = \dfrac{V^2}{R} = \dfrac{100}{25} = 4$ vatios

21. (1) $P = iV_{ab}$. (2) $V_{ab} =$ ..... *(en función de* i y R*).*



(3) $P =$ ..... *(en función de* i y R*).*

* * * * *

$V_{ab} = iR$ (porque, por definición, $R = \frac{V_{ab}}{i}$) ; $P = i(iR) = i^2R$.

22. Vea la figura del cuadro anterior. Sean $i = 5$ amp y $R = 12$ ohmios. $P =$ ..... vatios.

* * * * *

$P = i^2R = (25)(12) = 300$ vatios

23. Veamos el Panel 24. Lea el problema 8. Para calcular la potencia, primero tenemos que encontrar la ..... del alambre.

* * * * *

resistencia

24. Panel 24, problema 8. Para ρ use la tabla del Panel 23. La resistencia del alambre es de ..... ohmios.

$P =$ ..... *(en función de la diferencia de potencial y la resistencia).*

$P =$ ..... vatios.

* * * * *

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(1.7 \times 10^{-8})(10)}{2 \times 10^{-6}} = 8.5 \times 10^{-2} \text{ ohmio}$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$P = \frac{36}{8.5 \times 10^{-2}} = 4.2 \times 10^{2} \text{ vatios}$$

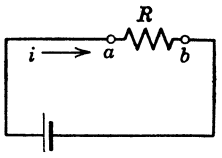
25. (1) $\frac{\Delta U}{t} = P = iV = i^2R = \frac{V^2}{R}$.

(2) Multiplicando cada una de las ecuaciones de (1) por t, simplifique donde sea posible: $\Delta U =$ ..... $=$ ..... $=$ ..... $=$ .....

* * * * *

$$Pt = iVt = i^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$

26. La corriente i fluye por la resistencia R, a través de la cual se mantiene un potencial eléctrico V_{ab} durante un tiempo t. Escriba expre-



siones para el calor desarrollado en R en el tiempo t, en función de lo siguiente:

(1) la diferencia de potencial y la resistencia;

(2) la corriente y la resistencia;

(3) el cambio en la energía potencial eléctrica;

(4) la potencia P;

(5) la diferencia de potencial y la corriente.

* * * * *

(1) $\dfrac{V_{ab}^2 t}{R}$; (2) i^2Rt; (3) ΔU; (4) Pt; (5) itV_{ab}

27. Veamos la figura del cuadro anterior. Calcule (en julios) la energía calorífica desarrollada en 7 seg, cuando la potencia usada en R sea de 10 vatios: $H =$ .....

* * * * *

$H = Pt =$ (10 vatios) (7 seg) = (10 julios/seg) (7 seg) = 70 julios

28. Vea la figura del cuadro 26. Calcule la energía calorífica desarrollada en 5 minutos en R, si la diferencia de potencial a través de ella es de 6 voltios, y la corriente de 2 amp: $H =$ ..... julios.

* * * * *

$H = itV =$ (2 amp) (6 voltios) (5 min)

= (2 culombios/seg) (6 julios/culombio) (5 × 60) seg = 3600 julios

29. Veamos la figura del cuadro 26. Si $R = 5$ ohmios e $i = 1.2$ amp, calcule el calor desarrollado en 12 minutos.

* * * * *

$H = i^2Rt =$ $(1.2 \text{ amp})^2$ (5 ohmios) (12 min)

= $(1.44 \text{ amp})^2$ (5 voltios/amp) (12 × 60) seg

= $(1.44 \text{ amp})^2$ (5 voltios) (720 seg) = 5.2×10^3 julios

30. En una resistencia, la energía potencial eléctrica es transformada en otra forma de energía llamada frecuentemente *calor de Joule.* Si a través de una resistencia R fluye una corriente i durante un tiempo t, el calor de Joule desarrollado en la resistencia está dado por la ecuación $H =$ .... El calor de Joule se mide en (vatios/kilovatios/amperios/julios).

* * * * *

i^2Rt; julios

31. Cuando se conectan los extremos de un trozo de alambre a una fuente de fem, la temperatura del alambre (sube/baja/permanece constante). La energía desarrollada en el alambre se llama calor de .....

* * * * *

sube; Joule

Sección 6. Resistencias en serie

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots$$

$$i = \frac{V}{R}$$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$$

Voltaje en las terminales de una batería

1. Veamos el Panel 26. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

P

2. Panel 26. Vea la Fig. 1. $\mathcal{E}_A$ y $\mathcal{E}_B$ son las diferencias de potencial mantenidas por las ..... representadas por los símbolos (⊣⊢). El símbolo (o⟶) indica la dirección en que $\mathcal{E}$ tiende a empujar a las cargas (+), alrededor del circuito. En esta figura (sólo $\mathcal{E}_A$/sólo $\mathcal{E}_B$/$\mathcal{E}_A$ y $\mathcal{E}_B$/ni $\mathcal{E}_A$ ni $\mathcal{E}_B$) tiende(n) a empujar a las cargas (+) en dirección contraria a las manecillas del reloj.

* * * * *

baterías; $\mathcal{E}_A$ y $\mathcal{E}_B$

3. Panel 26. En la Fig. 2, $\mathcal{E}_A$ tiende a empujar cargas (+) en dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj; $\mathcal{E}_B$ tiende a empujar cargas

(+) en la dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj. Si $\mathcal{E}_B = 40$ voltios y $\mathcal{E}_A = 25$ voltios, la corriente fluirá en el circuito en la dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj.

* * * * *

contraria a; de; de

4. Panel 26. En la Fig. 2, si $\mathcal{E}_A = 50$ voltios y $\mathcal{E}_B = 30$ voltios, entonces la corriente fluirá en el circuito, en la dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj, y la fem total, $\mathcal{E}$, del circuito, será de .... voltios.

* * * * *

contraria a; 20 voltios ($\mathcal{E} = \mathcal{E}_A + \mathcal{E}_B = 50$ voltios + (−30 voltios = 20 voltios). (Recuerde que las fem y las diferencias de potencial se suman escalarmente.)

5. Panel 26. En la Fig. 1, si $\mathcal{E}_A = 50$ voltios y $\mathcal{E}_B = 30$ voltios, la fem total será: $\mathcal{E} =$ ..... voltios.

* * * * *

50 + 30 = 80 voltios (porque tienen el mismo sentido o dirección)

6. Panel 26. En la Fig. 3, el símbolo (⟶) bajo la *i* indica la dirección en que fluye la corriente en el circuito (note que la flecha no tiene un circulito en la cola, lo que la distingue del símbolo (o⟶), que identifica a $\mathcal{E}$). La corriente eléctrica está fluyendo en el sentido (de/contrario a) las manecillas del reloj.

* * * * *

contrario a

7. Panel 26, Fig. 3. La dirección de la corriente indica que la magnitud de $\mathcal{E}_A$ es (igual a/menor que/mayor que) la magnitud de $\mathcal{E}_B$. En esta figura, si $\mathcal{E}_A = \mathcal{E}_B$, *(a)* la corriente fluirá en el sentido de las manecillas del reloj, *(b)* no habrá corriente, *(c)* la corriente permanecerá fluyendo en sentido contrario a las manecillas del reloj.

* * * * *

mayor que; *(b)*

8. A menos que se especifique lo contrario, supondremos que la resistencia de los alambres que conectan entre sí a los elementos del circuito, como resistencias y baterías, es despreciable. En la Fig. 2, esto (significa/no significa) que R es despreciable. (Significa/no significa) que la resistencia de los alambres que unen a R con el circuito, es despreciable.

* * * * *

no significa; significa

9. Veamos el Panel 27. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

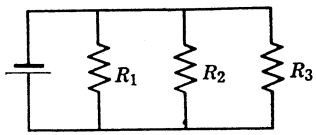
L

10. Panel 27, Fig. 1. Las resistencias R_1, R_2 y R_3 están conectadas *en serie;* esto significa que hay (sólo una/más de una) trayectoria conductora a través de ellas.

* * * * *

sólo una

11. En este caso hay tres trayectorias conductoras en el circuito. R_1, R_2



y R_3 (están/no están) conectadas en serie.

* * * * *

no están

12. Panel 27, Fig. 1. Es una propiedad del circuito en serie que *toda* la corriente que pasa a través de una resistencia de la serie debe pasar por todas las demás resistencias. Si la corriente en R_1 es de 5 amp, la corriente en R_2 será de .... amp.

* * * * *

5

13. Panel 27. En la Fig. 1, sea V_{ad} la diferencia de potencial de *a* a *d*, V_{ab} la diferencia de potencial de *a* a *b*, V_{bc} la diferencia de potencial de *b* a *c*, y V_{cd} la diferencia de potencial de *c* a *d*. Escriba una ecuación que relacione entre sí a estas diferencias de potencial.

* * * * *

$V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$

14. Panel 27, Fig. 1.

(1) $V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$.

(2) Por definición, $R_1 =$ ..... *(en función de la corriente y la diferencia de potencial).*

(3) De (2): $V_{ab} =$ .....

* * * * *

$\frac{V_{ab}}{i}$; iR_1

15. Panel 27, Fig. 1.

(1) $V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$.

(2) $V_{ab} = iR_1$.

(3) $V_{bc} =$ ....., $V_{cd} =$ .....

* * * * *

$V_{bc} = iR_2$; $V_{cd} = iR_3$

16. Panel 27, Fig. 1.

(1) $V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$.

(2) $V_{ab} = iR_1$; $V_{bc} = iR_2$; $V_{cd} = iR_3$.

(3) Sustituyendo en (1) los valores de (2): $V_{ad} =$ .....

* * * * *

$iR_1 + iR_2 + iR_3$

17. Panel 27, Fig. 1.

(1) $V_{ad} = iR_1 + iR_2 + iR_3$.

(2) Sea R una sola resistencia cuyos efectos equivalgan a esta combinación en serie. En función de R e i, $V_{ad} =$ .....

* * * * *

iR

18. Panel 27, Fig. 1.

(1) $V_{ad} = iR$, donde R es la resistencia que equivale a R_1, R_2 y R_3 combinadas *en serie*.

(2) $V_{ad} = iR_1 + iR_2 + iR_3$.

(3) Igualando los miembros derechos de (1) y de (2), y dividiendo entre i: $R =$ .....

* * * * *

$iR = iR_1 + iR_2 + iR_3$

$R = R_1 + R_2 + R_3$

19. Hemos mostrado que la resistencia resultante de un grupo de resistencias conectadas en ..... es la ..... de las resistencias individuales.

* * * * *

serie; suma

20. Panel 27, Fig. 1. Si $R_1 = 10$ ohmios, $R_2 = 5$ ohmios y $R_3 = 15$ ohmios, $R =$ ..... ohmios. Supongamos que $\mathcal{E}$ mantiene una diferencia de potencial, de a a d, de 90 voltios. Calcule i en el circuito.

* * * * *

$R = 30$ ohmios

$V_{ad} = iR$

$$i = \frac{V_{ad}}{R} = \frac{90 \text{ voltios}}{30 \text{ ohmios}} = 3 \text{ amp}$$

21. Panel 27, Fig. 1. Usando los datos del cuadro anterior: La corriente en R_2 es de .... amp, y en R_3 es de .... amp.

* * * * *

3; 3 (porque la corriente es la misma en cada una de las resistencias)

22. Panel 27, Fig. 1. V_{ab} es la diferencia de potencial eléctrico en $(R_1/R_2/R_3)$.

* * * * *

R_1

23. Panel 27, Fig. 1. Sean: $i = 3$ amp y $R_1 = 10$ ohmios. La diferencia de potencial en R_1 es de ..... voltios. Si $R_2 = 5$ ohmios, la diferencia de potencial en R_2 es de ..... voltios.

* * * * *

$V_{ab} = (3)(10) = 30$ voltios

$V_{bc} = (3)(5) = 15$ voltios

24. Panel 27. Veamos la Fig. 2 (Se/no se) trata de un circuito en serie. Explique su respuesta.

* * * * *

Se (porque toda la corriente que circula en cualquier punto del circuito debe pasar a través de todas las partes que lo forman; es decir, sólo hay una trayectoria conductora).

25. Panel 27, Fig. 2. Escriba una ecuación para la resistencia combinada de este circuito: $R =$ ..... $R =$ ..... ohmios.

* * * * *

$R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

$R = 2 + 10 + 3 + 25 = 40$ ohmios

26. Panel 27, Fig. 2. Si $\mathcal{E}$ mantiene una diferencia de potencia de 100 voltios de a a b en el circuito, calcule la corriente i en R_1.

* * * * *

$$i = \frac{V_{ab}}{R} = \frac{100 \text{ voltios}}{40 \text{ ohmios}} = 2.5 \text{ amp}$$

27. Panel 27, Fig. 2. ¿Cuál es la corriente en R_3?

* * * * *

2.5 amp

28. Panel 27, Fig. 2. Usando la corriente calculada para $V_{ab} = 100$ voltios, calcule las diferencias de potencial en R_1, R_2, R_3 y R_4.

$V_1 =$ ..... voltios; $V_2 =$ ..... voltios;

$V_3 =$ ..... voltios; $V_4 =$ ..... voltios.

* * * * *

$V_1 = iR_1 = (2.5)(2) = 5$ voltios

$V_2 = iR_2 = (2.5)(10) = 25$ voltios

$V_3 = iR_3 = (2.5)(3) = 7.5$ voltios

$V_4 = iR_4 = (2.5)(25) = 62.5$ voltios

(una buena verificación de su trabajo es sumar estas cantidades y ver si su suma es $V_{ab} = 100$ voltios).

29. Al producto iR se le llama con frecuencia *caída de potencial* a través de una resistencia, o bien, *caída* iR a través de la resistencia. La caída iR a través de una resistencia se mide en (amperios/ohmios/culombios/julios/voltios).

* * * * *

voltios

30. Cuando una fuente de fem mantiene una corriente i en un circuito externo, en su interior debe mantener también esa corriente. Debe realizarse una cierta cantidad de trabajo (dentro/fuera) de una batería, para que haya un movimiento de cargas (+) de su terminal (−) a su terminal (+).

* * * * *

dentro

31. Panel 27. Vea la Fig. 3. Una batería impulsa una corriente a través de (un circuito externo solamente/un circuito interno solamente/circuitos internos y externos).

* * * * *

circuitos internos y externos

32. Panel 27. La caja dibujada en el circuito de la Fig. 3 contiene una fuente de fem y una resistencia (interna/externa) a través de la cual debe fluir i. R y r (constituyen/no constituyen) una combinación en serie.

* * * * *

interna; constituyen

33. Panel 27, Fig. 3. La resistencia combinada de este circuito es la suma ..... *(use símbolos).*

* * * * *

$R + r$

34. Panel 27, Fig. 3. $\mathcal{E}$ es la diferencia de potencial mantenida a través de todo el circuito. Aquí equivale a la (suma/diferencia) de las caídas de potencial a través de R y r.

$\mathcal{E}$ = ... *(en función de la corriente y de las resistencias interna y externa).*

* * * * *

suma: $\mathcal{E} = ir + iR$

35. Panel 27, Fig. 3. $\mathcal{E} = ir + iR$. iR es la caída de potencial a través del circuito (interno/externo). ir es la caída de potencial a través del circuito (interno/externo).

* * * * *

externo; interno

36. Panel 27. En la Fig. 2. $\mathcal{E}$ (equivale/no equivale) a la suma de las caídas iR a través de R_1, R_2 y R_3. Se emplea un potencial adicional para impulsar una corriente a través de la resistencia ..... de la batería.

* * * * *

no equivale; interna

37. $\mathcal{E} = ir + iR$. Note que al aumentar i, la caída de potencial a través de la resistencia interna (aumenta/disminuye/permanece igual), y es necesario que la batería suministre (mayor/menor/igual) cantidad de diferencia de potencial, para vencer la resistencia interna.

* * * * *

aumenta; mayor

38. Panel 27, Fig. 3. $\mathcal{E} = ir + iR$. Al producto iR se le llama aquí *voltaje en la terminal* de la batería y representa la diferencia de poten-

cial empleada para impulsar a una corriente i en el circuito (interno/externo/completo).

* * * * *

externo

39. Panel 27, Fig. 3. Sean: $R = 10$ ohmios e $i = 0.3$ amp. El voltaje en la terminal de la batería usado en este circuito, es de .... voltios.

* * * * *

$V_{\text{term}} = iR = (0.3)(10) = 3$ voltios

40. Panel 27, Fig. 3. $\mathcal{E} = ir + iR$. La fem de una batería es la suma de las caídas de potencial a través de la resistencia ..... de la batería, más el voltaje en las ..... de la batería.

* * * * *

interna; terminales

41. Panel 27, Fig. 3.

(1) $\mathcal{E} = ir + iR$.

(2) $\mathcal{E} = i(r + R)$.

(3) $i =$ ..... *(despeje i de* (2)*)*.

* * * * *

$$\frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

42. Panel 27, Fig. 3. Sean: $\mathcal{E} = 6.6$ voltios, $r = 0.5$ ohmios y $R = 5$ ohmios. Calcule i.

* * * * *

$$i = \frac{\mathcal{E}}{r + R} = \frac{6.6}{0.5 + 5} = \frac{6.6}{5.5} = 1.2 \text{ amp}$$

43. Panel 27, Fig. 3.

$\mathcal{E} = 6.6$ voltios

$r = 0.5$ ohmios

$R = 5$ ohmios

$i = 1.2$ amp

Bajo estas condiciones calcule el voltaje en las terminales de la batería.

* * * * *

$V_{\text{term}} = iR = (1.2)(5) =$ **6 voltios**

44. Panel 27. En la Fig. 4, las resistencias externas están representadas por .....; las resistencias internas están representadas por .....

* * * * *

R_1, R_2 y R_3; r_a y r_b

45. Panel 27, fig. 4. ¿Cuál de las siguientes expresiones es verdadera, *(a)*, *(b)* o *(c)*?:

(a) Las resistencias externas *no* están conectadas en serie; las resistencias internas están en serie.

(b) Las resistencias externas están en serie; las internas no.

(c) Las resistencias externas están en serie con las internas, y en serie entre sí.

* * * * *

(c)

46. Panel 27, Fig. 4. La resistencia *externa* combinada es $R =$ ..... *(símbolos)*. $R =$ ..... ohmio(s). La resistencia *interna* combinada es $r =$ ..... *(símbolos)*. $r =$ ..... ohmio(s).

* * * * *

$R_1 + R_2 + R_3$; 99 ohmios; $r_a + r_b$; 1 ohmio

47. Panel 27, Fig. 4. $\mathcal{E}_A =$ ..... voltios; $\mathcal{E}_B =$ ..... voltios. $\mathcal{E}_A$ y $\mathcal{E}_B$ tienden a mover cargas (+) en (la misma dirección/direcciones opuestas). La fem del circuito es $\mathcal{E} =$ ..... voltios.

* * * * *

10 voltios; 7 voltios; direcciones opuestas; $10 - 7 =$ **3 voltios**

48. Panel 27, Fig. 4. Podemos encontrar la corriente i en este circuito, con la ecuación: $i =$ ..... *(en función de* $\mathcal{E}$, r y R*)*. $i =$ .... amperios.

* * * * *

$$\frac{\mathcal{E}}{r+R}; \quad \frac{\mathcal{E}}{r+R} = \frac{3 \text{ voltios}}{1 \text{ ohmio} + 99 \text{ ohmios}} = 0.03 \text{ amp}$$

49. Panel 27, Fig. 4. Las caídas iR a través de R_1, R_2 y R_3 son, respectivamente, de ..... voltios, ... voltios y ..... voltios.

* * * * *

$iR_1 = (0.03)(25) = 0.75$ voltio

$iR_2 = (0.03)(30) = 0.90$ voltio

$iR_3 = (0.03)(44) = 1.32$ voltios

50. Panel 27. En la Fig. 5 están conectadas varias baterías, con la terminal negativa de una conectada a la terminal positiva de la otra, mediante un alambre conductor. Sea n el número de baterías y $\mathcal{E}$ la fem de cada una de ellas. La fem total será $\mathcal{E} + \mathcal{E} + \mathcal{E} + \ldots$ hasta n términos, o sea el producto .....

* * * * *

$n\mathcal{E}$

51. Panel 27. La disposición que guardan las baterías en la Fig. 5 se llama "en serie". Sus resistencias internas también están en serie. Si r = resistencia interna de una batería, la resistencia interna combinada de n baterías en serie es el producto .....

* * * * *

nr

52. Panel 27, Fig. 5 Hay n baterías, cada una con una fem $\mathcal{E}$ y una resistencia interna r, dispuestas en serie, es decir, con la terminal (+) de una, conectada a la terminal [(+)/(−)] de otra. La resistencia total del circuito es la suma ..... La corriente en el circuito es $i =$ ..... *(use* $\mathcal{E}$, i, n, r y R*).*

* * * * *

(−); $nr + R$; $i = \dfrac{n\mathcal{E}}{nr + R}$

53. Suponga que hay 10 baterías, cada una con una fem de 1.5 voltios y una resistencia interna de 0.5 ohmios. Si la resistencia externa es de 45 ohmios, calcule la corriente i.

* * * * *

$$i = \frac{n\mathcal{E}}{nr + R} = \frac{(10)(1.5)}{(10)(0.5) + 45} = \frac{15}{50} = \mathbf{0.3\ amp}$$

Sección 7. Resistencias en paralelo

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots + i_n$$

1. Vea el Panel 28. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

W

2. Panel 28. En la Fig. 1 se ven tres pelotas de acero de 1 kg cada una, que caen de la misma altura, a través de líquidos que ofrecen diferente resistencia a su caída. En la parte superior, las energías potenciales gravitacionales de las pelotas son (iguales/desiguales).

* * * * *

iguales

3. Panel 28, Fig. 1. Podemos decir que estas pelotas sufren (iguales/desiguales) cambios en su energía potencial, al caer de la parte superior al fondo de sus columnas. La que encuentre la menor resistencia será la que llegue al fondo de su columna con la (mayor/menor) velocidad.

* * * * *

iguales; mayor

4. Panel 28, Fig. 1. De las tres pelotas bajo consideración, la que encuentre la menor resistencia transformará la (mayor/menor/misma) cantidad de su energía potencial en calor.

* * * * *

menor

5. Panel 28. Fig. 2 (es/no es) una combinación en serie, de resistencias.

* * * * *

no es (porque hay más de una trayectoria conductora. La carga puede fluir a través de R_1, R_2 o R_3).

6. Panel 28. Vea la Fig. 2. Hemos supuesto, y continuaremos suponiendo, que la resistencia de los alambres que conectan las resistencias en un circuito eléctrico (es/no es) despreciable. Esto significa que la diferencia de potencial eléctrico de *a* a *b* en este circuito (depende/no depende) de si consideramos la trayectoria R_1, la R_2 o la R_3.

* * * * *

es; no depende

7. Panel 28, Fig. 2. R_1, R_2 y R_3 son resistencias diferentes. Las *diferencias de potencial* a través de R_1, de R_2 y de R_3 en este circuito, son (iguales/desiguales).

* * * * *

iguales

8. Panel 28, Fig. 2. La rapidez con que fluya la carga a través de R_1, de R_2 y de R_3 (depende/no depende) de las resistencias de cada una de ellas (considere la situación análoga de la Fig. 1).

* * * * *

depende

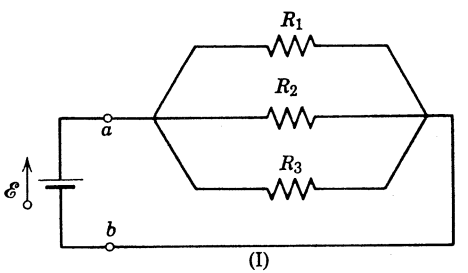
9. Panel 28, Fig. 2. Resistencias *en paralelo* son aquellas a través de las cuales se ha aplicado una diferencia de potencial idéntica. R_1, R_2 y R_3 de este circuito (son/no son) resistencias en paralelo.

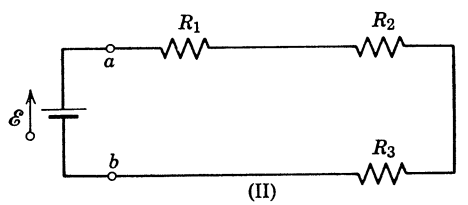
* * * * *

son

10. En (I), R_1, R_2 y R_3 son resistencias (en serie/en paralelo). En (II), R_1, R_2 y R_3 son resistencias (en serie/en paralelo).

* * * * *





en paralelo; en serie

11. Veamos las figuras del cuadro anterior. R_1, R_2 y R_3 son resistencias diferentes. En (I), las diferencias de potencial a través de R_1 y de R_2

son (distintas/idénticas). En (II), las diferencias de potencial a través de R_1 y de R_2 son (distintas/idénticas).

* * * * *

idénticas; distintas

12. Refiérase a las figuras del cuadro 10. En (I), si R_1 y R_2 son distintas, las corrientes en R_1 y R_2 son (iguales/distintas). En (II), si R_1 y R_2 son distintas, las corrientes en R_1 y en R_2 son (iguales/distintas).

* * * * *

distintas; iguales

13. Panel 28, Fig. 2. La corriente que entra por a (o sale por b) debe ser la suma de las corrientes en R_1, R_2 y R_3. Usando los símbolos de la figura: $i =$ .....

* * * * *

$i_1 + i_2 + i_3$

14. Panel 28, Fig. 2. Sea V la diferencia de potencial de a a b. Entonces, por nuestra definición de resistencia:

$R_1 =$ ....., $R_2 =$ ....., $R_3 =$ .....

* * * * *

$\frac{V}{i_1}$; $\frac{V}{i_2}$; $\frac{V}{i_3}$

15. Panel 28, Fig. 2. Sea R la resistencia combinada de R_1, R_2 y R_3 de este circuito. Por definición de resistencia, en función de la corriente que entra por a y sale por b, y de la diferencia de potencial de a a b: $R =$ .....

* * * * *

$\frac{V}{i}$

16. Panel 28, Fig. 2.

(1) $i = i_1 + i_2 + i_3$

(2) $R = \frac{V}{i}$; $R_1 = \frac{V}{i_1}$; $R_2 = \frac{V}{i_2}$; $R_3 = \frac{V}{i_3}$.

(3) Despejando la corriente i en cada una de las ecuaciones de (2): $i =$ .....; $i_1 =$ .....; $i_2 =$ .....; $i_3 =$ .....

(4) Sustituyendo en (1) con los miembros derechos de las ecuaciones de (3): $\frac{V}{R} =$ .....

* * * * *

$$i = \frac{V}{R};\ i_1 = \frac{V}{R_1};\ i_2 = \frac{V}{R_2};\ i_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

17. Panel 28, Fig. 2.

(1) $\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$

(2) Dividiendo entre V cada término de (1), el resultado es:

$\frac{1}{R} =$ .....

* * * * *

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

18. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Esta ecuación nos permite calcular la resistencia ....., R, de las resistencias R_1, R_2 y R_3, cuando éstas están conectadas en (serie/paralelo).

* * * * *

combinada; paralelo

19. Las resistencias R_x y R_y están conectadas *en serie*. La resistencia combinada R se encuentra con la ecuación: ..... Cuando R_x y R_y están conectadas *en paralelo,* su resistencia combinada se encuentra con la ecuación: .....

* * * * *

$$R = R_x + R_y;\ \frac{1}{R} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y}.$$

20. Panel 28. En la Fig. 2, $R_1 = 3$ ohmios, $R_2 = 6$ ohmios y $R_3 = 12$ ohmios. Calcule la resistencia combinada R.

* * * * *

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$$

$12 = 4R + 2R + R$; $12 = 7R$; $R = 12/7$ ohmios $= 1.71$ ohmios

21. Del cuadro anterior:

$R_1 = 3\ \Omega$ $\qquad$ $R_3 = 12\ \Omega$

$R_2 = 6\ \Omega$ $\qquad$ $R = 1.71\ \Omega$

Observe que la resistencia combinada de esta disposición (en serie/en paralelo), es (mayor/menor) que cualquiera de las resistencias individuales.

* * * * *

en paralelo; menor

22. Panel 23, Fig. 2. Calcule la corriente que entra por *a* y sale por *b*, si la diferencia de potencial entre *a* y *b* es de 48 voltios y R_1, R_2 y R_3 tienen los valores dados en el cuadro 21.

* * * * *

$$i = \frac{V}{R} = \frac{48 \text{ voltios}}{12/7 \text{ ohmios}} = 28 \text{ amp}$$

23. Panel 28, Fig. 2.

$R_1 = 3$ ohmios $\qquad$ $R_3 = 12$ ohmios

$R_2 = 6$ ohmios $\qquad$ $V = 48$ voltios

Calcule i_1, i_2 e i_3. Sume los resultados y compárelos con la respuesta del cuadro anterior.

* * * * *

$$i_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{48 \text{ voltios}}{3 \text{ ohmios}} = 16 \text{ amp}$$

$$i_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{48 \text{ voltios}}{6 \text{ ohmios}} = 8 \text{ amp}$$

$$i_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{48 \text{ voltios}}{12 \text{ ohmios}} = 4 \text{ amp}$$

$i_1 + i_2 + i_3 = 28$ amp, que es igual a la respuesta del cuadro anterior.

24. Panel 28, Fig. 2. Del cuadro anterior:

$i_1 = 16$ amp $\qquad$ $i_3 = 4$ amp

$i_2 = 8$ amp $\qquad$ $i = 28$ amp

La corriente que circula en los alambres que van hacia un arreglo de resistencias en paralelo, y que parten de ella, es (menor que/igual a/mayor que) la corriente que circula por una sola de ellas.

* * * * *

mayor que

25. La corriente que circula en los alambres que van hacia un arreglo de resistencias *en serie,* y que parten desde ella, es (menor que/igual a/mayor que) la corriente en cualquiera de ellas.

* * * * *

igual a

26. Dadas las resistencias *desiguales* R_1, R_2 y R_3 si se conectan *en serie,* la corriente en cada resistencia es (igual/diferente) a la de las demás. Si R_1, R_2 y R_3 se conectan en paralelo, la corriente en cada resistencia es (igual/diferente) a la de las demás.

* * * * *

igual; diferente

27. Se dan las resistencias desiguales R_1, R_2 y R_3. Cuando las tres se conectan en serie, la caída de potencial (es/no es) la misma a través de cada resistencia. Cuando las tres se conectan en paralelo, la caída de potencial (es/no es) la misma a través de cada resistencia.

* * * * *

no es; es

28. Panel 28. La Fig. 3 muestra un circuito que contiene un grupo de resistencias arregladas (en serie/en paralelo). La diferencia de potencial de *a* a *b* es de 5 voltios. La diferencia de potencial en R_2 es de .... voltios.

* * * * *

en paralelo; 5

29. Panel 28, Fig. 3. Podemos contar con que la resistencia combinada de este arreglo en paralelo sea (mayor/menor) de 5 ohmios. Calcule la resistencia combinada.

* * * * *

menor

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{25}$$

$50 = 10R + 5R + 2R$

$17R = 50$

$R = \frac{50}{17}$ ohmios $= 2.9$ ohmios

30. Panel 28, Fig. 3. Calcule la corriente en cada resistencia y la corriente en el alambre que va hacia *a* y sale de *b*.

$i_1 =$ .....; $i_2 =$ .....; $i_3 =$ .....;

$i =$ ..... (Verifique V en el cuadro 28).

* * * * *

$i_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{5 \text{ voltios}}{5\,\Omega} = 1$ amp

$i_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{5 \text{ voltios}}{10\,\Omega} = 0.5$ amp

$i_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{5 \text{ voltios}}{25\,\Omega} = 0.2$ amp

$i = i_1 + i_2 + i_3 = 1.7$ amp, o bien: $i = \frac{V}{R} = \frac{5}{50/17} = 1.7$ amp

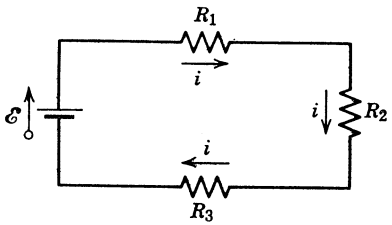
31. Vea el Panel 29. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

Y

32. Panel 29. Lea el problema 1. Dibuje este circuito, usando una batería como fuente de fem y R_1, R_2 y R_3 como resistencias.

* * * * *



33. Panel 29, problema 1. Calcule la resistencia combinada R que se pide en el inciso *(a)*: $R =$ ..... ohmios.

* * * * *

$R = 2 + 4 + 8 = 14$ ohmios

34. Panel 29, problema 1. La corriente que circula por cada resistencia de un circuito en serie es (la misma/diferente) para cada resistencia.

* * * * *

la misma

35. Panel 29, problema 1*(b)*. Sean: V = diferencia de potencial total a través de la serie de resistencias, y R = resistencia combinada. La corriente en cada resistencia es i = ... *(símbolos)*. i = ... amp.

* * * * *

$$i = \frac{V}{R};\ i = \frac{70 \text{ voltios}}{14 \text{ ohmios}} = 5 \text{ amp}$$

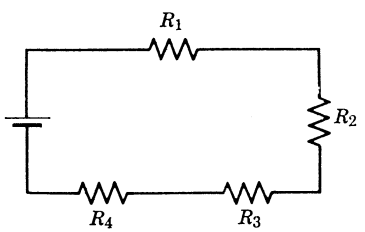
36. Panel 29, problema 1*(c)*. Sea V_2 la diferencia de potencial a través de la resistencia de 4 ohmios. La corriente en esta resistencia es de ..... amp. V_2 = ... voltios.

* * * * *

5 amp; $V_2 = iR_2$ = (5 amp) (4 ohmios) = **20 voltios**

37. Panel 29, problema 1*(d)*. Dibuje este circuito, rotulando como R_4 la nueva resistencia.

* * * * *



(R_4 puede agregarse donde sea, siempre que quede en serie con R_1, R_2 y R_3).

38. Panel 29, problema 1*(d)*. Ahora la resistencia combinada es de .... ohmios. La corriente en cada resistencia es de ..... amp. La diferencia de potencial a través de la resistencia de 4 ohmios es de ..... voltios.

* * * * *

$R = 2 + 4 + 8 + 14$ = **28 ohmios**

$$i = \frac{V}{R} = \frac{70 \text{ voltios}}{28 \text{ ohmios}} = 2.5 \text{ amp en cada resistencia}$$

$V_2 = iR_2$ = (2.5 amp) (4 ohmios) = 10 voltios

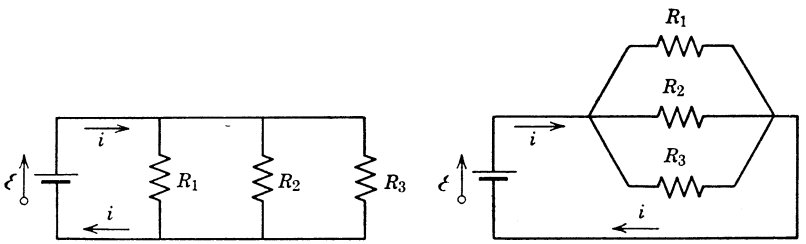
39. Al agregar resistencias a un grupo de tales en serie, la resistencia combinada (aumenta/disminuye/permanece igual) y la corriente en cada resistencia (aumenta/disminuye/permanece igual). Sin importar qué resistencia combinada sea, la corriente en cualquier resistencia en serie es (igual/distinta) a la de cualquier otra resistencia de esa misma serie.

* * * * *

aumenta; disminuye; igual

40. Panel 29. Lea el problema 2. Dibuje este circuito, usando una batería como fuente de fem, y rotule las resistencias: R_1, R_2 y R_3.

* * * * *



41. Panel 29, problema 2. Calcule la resistencia combinada R de estas resistencias conectadas en paralelo. R = ... ohmios.

* * * * *

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$$

$8 = 4R + 2R + R$

$7R = 8$

$R = 8/7$ ohmios $= 1.14$ ohmios

42. Panel 29, problema *2(b)*. La corriente en cada resistencia en un arreglo en paralelo (depende de/es independiente de) el valor que tenga cada una de ellas.

* * * * *

depende de

43. Panel 29, problema *2(b)*. Sea i_3 la corriente en la resistencia de 8 ohmios. i_3 = ... amp.

* * * * *

$$i_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{70 \text{ voltios}}{8 \text{ ohmios}} = 8.75 \text{ amp}$$

44. Panel 29, problema 2. Sean: i_1 = corriente en la resistencia de 2 ohmios, e i_2 = corriente en la resistencia de 4 ohmios; i_1 = ... amp; i_2 = ... amp.
La corriente que circula por el arreglo en paralelo es i = ... amp.

* * * * *

$$i_1 = \frac{70 \text{ voltios}}{2 \text{ ohmios}} = 35 \text{ amp}$$

$$i_2 = \frac{70 \text{ voltios}}{4 \text{ ohmios}} = 17.5 \text{ amp}$$

$i = i_1 + i_2 + i_3 = 35 + 17.5 + 8.75 = 61.25$ amp, o bien:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{70}{8/7} = 61.25 \text{ amp}$$

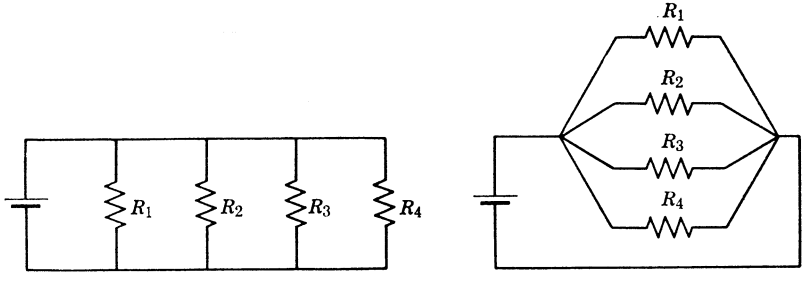
45. Panel 29, problema 2*(c)*. Las diferencias de potencial a través de las resistencias en un arreglo en paralelo, son (idénticas/distintas). La diferencia de potencial en la resistencia de 4 ohmios es de ..... voltios.

* * * * *

idénticas; 70

46. Panel 29, problema 2. Dibuje el circuito descrito en la parte *(d)*. Use R_4 para representar a la nueva resistencia.

* * * * *



Estos son dos posibles arreglos. Lo importante es que cuando se agregue R_4, quede conectada en paralelo con las demás resistencias.

47. Panel 29, problema 2*(d)*. Al agregar la resistencia de 14 ohmios a este circuito, la resistencia combinada cambia su valor a ..... ohmios.

* * * * *

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{14}$$

$$56 = 28R + 14R + 7R + 4R$$

$$53R = 56$$

$R = {}^{56}\!/_{53}$ ohmios $= 1.06$ ohmios (compare este resultado con el de la parte *(a)* de este problema).

48. Panel 29, problema 2*(d)*. Calcule la corriente en la resistencia de 8 ohmios: $i_3 =$ ..... amp. ¿Cambia ésta, al agregar una resistencia en paralelo? (sí/no).

* * * * *

$$i_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{70 \text{ voltios}}{8 \text{ ohmios}} = 8.75 \text{ amp}$$

¡No!

49. Panel 29, problema 2*(d)*. La diferencia de potencial en la resistencia de 4 ohmios (cambia/no cambia) al agregar una resistencia en paralelo. $V_3 =$ ..... voltios.

* * * * *

no cambia; 70

50. Panel 29, problema 2*(d)*. Calcule la corriente que circula por el arreglo descrito en *(d)*.

* * * * *

$$i = \frac{V}{R} = \frac{70 \text{ voltios}}{56/53 \text{ ohmios}} = 66.25 \text{ amp}$$ (compare este resultado con los 61.25 amp que había antes de agregar la resistencia de 14 ohmios).

51. Es una propiedad del arreglo de resistencias en paralelo, que al agregar una resistencia más en paralelo, la resistencia combinada (aumenta/disminuye/no se afecta). De esto se deduce que al agregar resistencias en paralelo a un arreglo de resistencias, la corriente que circula por estas últimas (aumenta/disminuye/permanece igual).

* * * * *

disminuye; aumenta

52. Los fusibles de los circuitos caseros se funden cuando la corriente en la línea aumenta tanto, que el calor desarrollado en los alambres funde una tirita de un metal de bajo punto de fusión que hay en el fusible; esto sucede cuando conectamos a la línea casera demasiados aparatos e indica que los circuitos caseros están alambrados (en serie/en paralelo).

* * * * *

en paralelo

Sección 8. Repaso y problemas

1. Refirámonos al Panel 28. Examine la Fig. 4. Tenemos una ecuación que relaciona la resistencia interna de esta batería con la resistencia combinada del circuito externo, $\mathcal{E}$ e i. $i =$ ..... *(símbolos).*

* * * * *

$$\frac{\mathcal{E}}{r+R}$$

2. Panel 28, Fig. 4. $i = \dfrac{\mathcal{E}}{r+R}$. i es la corriente que fluye dentro y fuera del arreglo en paralelo. La corriente en r es (mayor que/menor que/igual a) i. La corriente en R_1 es (mayor que/menor que/igual a) i. R es la resistencia combinada de las resistencias del circuito (externo/interno). Relacionamos a R con R_1, R_2 y R_3 en la ecuación .....

.....

* * * * *

igual a; menor que; externo; $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}$

3. Panel 28, Fig. 4. Calcule R de los datos de esta figura: $R =$ ..... ohmios. También calcule i con estos datos: $i =$ ..... amp.

* * * * *

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{15} + \frac{1}{15}$$

$15 = 3R$; $R = \mathbf{5}$ **ohmios**

$$i = \frac{\mathcal{E}}{r+R} = \frac{11 \text{ voltios}}{0.5\,\Omega + 5\Omega} = \frac{11}{5.5} = \mathbf{2\ amp}$$

4. Panel 28, Fig. 4. La diferencia de potencial de a a b en el circuito externo, es el voltaje en las ..... de la batería.

* * * * *

terminales

5. Panel 28, Fig. 4 $\mathcal{E} = ir + iR$. $(\mathcal{E}/ir/iR)$ es el voltaje en las terminales de la batería en este circuito.

* * * * *

iR

6. Panel 28, Fig. 4. Use la i calculada anteriormente y los datos de la figura, para calcular la diferencia de potencial V_{ab} a través del circuito externo: V_{ab} = ... voltios.

* * * * *

$V_{ab} = iR$ = (2 amp) (5 ohmios) = 10 voltios

7. Panel 28, Fig. 4. La diferencia de potencial en R_1 es = ... voltios. La diferencia de potencial en R_2 es de ..... voltios.

* * * * *

10; 10

8. Panel 8, Fig. 4. Calcule la corriente en R_1.

* * * * *

$$i_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} = \frac{10 \text{ voltios}}{15 \text{ ohmios}} = 0.67 \text{ voltio}$$

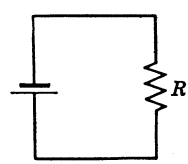
9. Panel 28, Fig. 3. El *amperímetro* es un dispositivo que se emplea para medir la corriente eléctrica; se conecta *en serie* con la parte del circuito donde deseamos medir la corriente. Para medir la corriente en R_1 debemos colocar el amperímetro en (a/x).

* * * * *

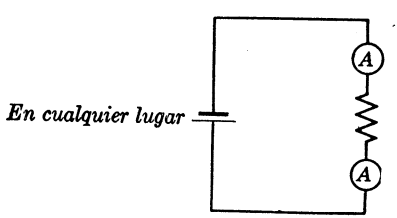
x

10. Ponga un amperímetro (rotúlelo Ⓐ) en este circuito para medir la corriente en R.

* * * * *



* * * * *



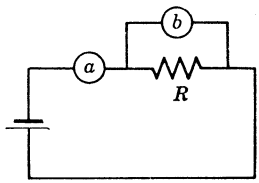
11. El amperímetro es un dispositivo para medir la ..... eléctrica. Se coloca (en serie/en paralelo) con la parte del circuito donde se desea medirla.

* * * * *

corriente; en serie

12. El voltímetro es un dispositivo que se emplea para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito; se conecta *en paralelo* con la parte del circuito que se desea medir. ⓐ y ⓑ son voltímetros. ¿Cuál está conectado para medir la diferencia de potencial que hay en R?

* * * * *



b

13. Usaremos el símbolo —Ⓥ— para representar a un voltímetro en un circuito eléctrico, y el símbolo —Ⓐ— para representar a un amperímetro. —Ⓥ— debe conectarse (en serie/en paralelo) con el elemento a través del cual se va a medir la diferencia de potencial; —Ⓐ— se debe conectar (en serie/en paralelo) con el elemento a través del cual se va a medir la corriente.

* * * * *

en paralelo; en serie

14. El amperímetro está calibrado para dar lecturas en unidades tales como (voltios/ohmios/amperios). El voltímetro está calibrado para dar lecturas en unidades tales como (voltios/ohmios/amperios).

* * * * *

amperios; voltios

15. Panel 29. Lea el problema 3. Las resistencias R_1 y R_2 constituyen un arreglo (en serie/en paralelo). R_3 y la resistencia combinada de R_1 y R_2 constituyen un arreglo (en serie/en paralelo).

* * * * *

en paralelo; en serie

16. Panel 29, problema 3. Calcule la resistencia combinada R de R_1 y R_2: R = ... ohmios. Calcule la resistencia combinada R' formada por R y R_3: R' = ... ohmios.

* * * * *

$$R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$$

$6 = 2R + R$; $3R = 6$; $R = 2$ ohmios

$R' = R + R_3 = 2 + 5 = 7$ ohmios

17. Panel 29, problema 3. La diferencia de potencial de a a b es de ..... voltios. La lectura en —(V1)— es ..... voltios.

* * * * *

12; 12

18. Panel 29, problema 3. La corriente en R_1 es i_1 = ... amp. La lectura en —(A1)— es ..... amp.

* * * * *

$$i_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} = \frac{12 \text{ voltios}}{6 \text{ ohmios}} = 2 \text{ amp}; 2$$

19. Panel 29, problema 3. La corriente en R_2 es i_2 = ... amp. La corriente que entra por a y sale por b es de ..... amp.

$$i_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} = \frac{12 \text{ voltios}}{3 \text{ ohmios}} = 4 \text{ amp}$$

$i = i_1 + i_2 = 2$ amp $+ 4$ amp $= 6$ amp, o bien:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{12 \text{ voltios}}{2 \text{ ohmios}} = 6 \text{ amp}$$

20. Panel 29, problema 3. En este circuito hay ..... trayectoria(s) de b a c. La corriente en R_3 y la lectura en —(A2)— es de .... amp.

* * * * *

una; 6

21. Panel 29, problema 3. La diferencia de potencial en R_3 y la lectura en —(V2)— es de ..... voltios.

* * * * *

$V_3 = iR_3 = (6 \text{ amp})(5 \text{ ohmios}) = 30$ voltios

22. Panel 29, problema 3. La diferencia de potencial total en el circuito externo es de ..... voltios. Esta también es (el voltaje en las terminales de la batería/la diferencia de potencial a través de la resistencia interna de la batería).

* * * * *

$V_{ab} = 12$ voltios $\quad V_{bc} = 30$ voltios $\quad V_{ac} = 42$ **voltios;**
el voltaje en las terminales de la batería

23. Panel 29, problema 4. $\mathcal{E} = iR' + ir$. $(\mathcal{E}/ir/iR')$ es la diferencia de potencial a través de la resistencia interna de la batería.

* * * * *

ir

24. Panel 29, problema 3. Calcule la diferencia de potencial a través de la resistencia interna.

* * * * *

$\mathcal{E} = ir + iR'$

$iR' = 42$ voltios

$\mathcal{E} = 45$ voltios

$ir = 45 - 42 = 3$ voltios

25. Un átomo que ha perdido o ganado uno o más electrones se llama

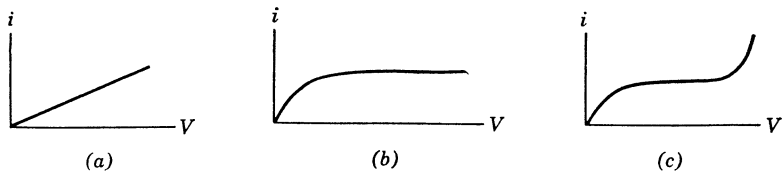
.....

* * * * *

ion

26. La gráfica de la corriente en función de la diferencia de potencial a través de un gas ionizado, es probable que se asemeje a *[(a)/(b)/(c)]*.

* * * * *



(a) *(b)* *(c)*

(c)

27. Un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial entre los dos puntos a los que se conecte, se llama ..... *(nombre completo)*.

* * * * *

fuente de fem

28. En una solución líquida, los portadores de cargas son los (iones/electrones). Los portadores de cargas en un metal, son los (iones/electrones).

* * * * *

iones; electrones

29. Por convención, una corriente eléctrica fluye en la dirección en que fluye una carga (+/−) bajo la influencia de un campo eléctrico.

* * * * *

(+)

30. Podemos "evaporar" electrones de un filamento metálico, calentando dicho filamento. Esto se conoce como emisión .....

* * * * *

termiónica

31. Los electrones que tienen libertad de movimiento en un sólido metálico se llaman electrones de ..... Cuando existe un campo eléctrico en un metal, estos electrones se mueven (paralelamente/paralela y opuestamente) al campo.

* * * * *

conducción; paralela y opuestamente

32. Los electrones de conducción en movimiento bajo la influencia de un campo eléctrico, chocan con una formación de iones llamada ..... El efecto externo de estos choques constituye lo que llamamos .... eléctrica.

* * * * *

malla; resistencia

33. Una carga de 15 culombios pasa a través de la sección de un alambre conductor en 3 seg. La corriente i a través del alambre es de ..... amp.

* * * * *

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{15 \text{ culombios}}{3 \text{ seg}} = 5 \text{ cul/seg} = 5 \text{ amp}$$

34. La corriente que fluye a través de un alambre de cobre de sección de 2.5×10^{-6} m^2 es de 10 amperios. Calcule la densidad de corriente j.

* * * * *

$$j = \frac{i}{A} = \frac{10 \text{ amp}}{2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 4 \times 10^6 \text{ amp/m}^2$$

35. La magnitud de la velocidad de arrastre de los electrones en un alambre es del orden de ($10^{-2}/10^2/10^5$) cm/seg.

* * * * *

10^{-2}

36. Cuando se aplica un potencial eléctrico de 20 voltios entre dos puntos de un alambre, la corriente en el alambre es de 0.5 amp. Calcule la resistencia del mismo.

* * * * *

$$R = \frac{V}{i} = \frac{20 \text{ voltios}}{0.5 \text{ amp}} = 40 \text{ ohmios o } 40\,\Omega$$

37. La resistividad de un metal es de 2.0×10^{-7} ohmio-metro. Calcule la resistencia de un alambre hecho de este metal, si tiene 25 m de largo y una sección de 0.5×10^{-6} m^2.

* * * * *

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(2.0 \times 10^{-7})(25)}{0.5 \times 10^{-6}} = 10\,\Omega$$

38. La resistividad de *la mayoría* de los metales (aumenta/disminuye) al aumentar su temperatura.

* * * * *

aumenta

39. A través de una resistencia de 8 ohmios fluye una corriente de 5 amp, durante 3 horas. Calcule la potencia empleada en *vatios*.

* * * * *

$P = i^2R = (25)(8) = 200$ vatios

40. Calcule en julios la energía calorífica desarrollada en la resistencia descrita en el cuadro anterior.

* * * * *

3 horas $= (3 \times 3600)$ seg
$H = i^2Rt = (25)(8)(3 \times 3600) = 2{,}160{,}000$ julios

41. La potencia empleada en un elemento de un circuito eléctrico es la cantidad de ..... eléctrica transformada en alguna otra forma de ..... por unidad de tiempo, en dicho elemento.

* * * * *

energía potencial; energía

PROBLEMAS

1. Compare las conducciones en un alambre de cobre, una solución de sal y un tubo al vacío que contenga un filamento calentado y una placa.

2. Si a través de una flama ionizante pasan 8×10^6 electrones en 5 seg, ¿cuál es la corriente?

3. Vea el Panel 21, Fig. 4. Si a través del área A pasa una carga de 2000 culombios en 2 horas, ¿cuál es la corriente?

4. Si en la Fig. 4 del Panel 21 la corriente i es de 0.25 amp y el tiempo 30 seg, ¿cuál es la carga en culombios?

5. ¿Cuál es la densidad de corriente en un alambre cuya sección es de 0.05 cm^2 y porta una corriente de 2 amp?

6. Si la densidad de corriente en un alambre es de 300 amp/cm^2 y su sección es 0.5 cm^2, ¿cuál es la corriente?

7. La diferencia de potencial en cierta parte de un circuito es de 20 voltios, y fluyen 10 amp, ¿cuál es la resistencia?

8. Si en un punto de un conductor sometido a una diferencia de potencial de 20 voltios, fluyen 500 culombios en 20 minutos, ¿cuál es la corriente i y la resistencia r?

9. Si la resistividad del cobre es de 1.77 microohmios-cm (1 microohmio $= 10^{-6}$ ohmio) a 20° C, ¿cuál es su resistividad cuando se eleva su temperatura de 20° C a 23° C?

10. ¿Cuál es la potencia empleada en operar un motor eléctrico que consume 100 julios por hora?

11. ¿Cuántos vatios se consumen en el problema 10?

12. ¿Cuál es la potencia que consume un calefactor eléctrico que opera a 120 voltios y 10 amperios durante una hora?

13. ¿Qué potencia consume una plancha eléctrica que tiene una resistencia de 5 ohmios por la que fluyen 15 amp?

14. Cuando la potencia es de 20 vatios, ¿cuál es la energía calorífica, en julios, desarrollada en 10 seg?

15. ¿Cuál es la energía calorífica que desarrolla una resistencia en 10 minutos, con una diferencia de potencial de 10 voltios y una corriente de 5 amp?

16. ¿Qué calor desarrolla una resistencia de 6 ohmios, si la corriente es de 5 amp?

17. ¿Cuál es la resistencia total de tres resistencias en serie, de 5, 10 y 25 ohmios respectivamente?

18. ¿Cuál es la resistencia total de las siguientes resistencias en paralelo: 10, 15 y 20 ohmios?

19. Si en un circuito la diferencia de potencial que fluye en el sentido de las manecillas del reloj es de 30 voltios, y la diferencia de potencial en sentido contrario es de 40 voltios, ¿cuál es la fem efectiva?

20. Si un circuito en serie se compone de tres resistencias cuyos valores son respectivamente de 5, 10 y 15 ohmios, y la corriente en la resistencia de 15 ohmios es de 3 amp, ¿cuál es la corriente en el conjunto de las tres resistencias?

21. Si tenemos cuatro resistencias en serie cuyos valores son 1, 2, 3 y 4 ohmios y las conectamos a una pila seca que suministra 1.5 voltios, ¿cuál es la diferencia de potencial en cada una de ellas?

CAPITULO 4

EL CAMPO MAGNETICO

OBJETIVOS

Al terminar el estudio concienzudo de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Describir campos magnéticos.
2. Describir los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas, calcular los campos que se forman en el centro de espiras y alrededor de conductores rectilíneos.
3. Describir y calcular las fuerzas magnéticas presentes en conductores de corriente, el uso de la regla de la mano derecha para determinar la dirección de las fuerzas y los campos magnéticos.
4. Calcular las fuerzas magnéticas sobre partículas cargadas que se mueven en campos magnéticos.
5. Describir el cañón electrónico y la medida que Thomson hizo de la razón q/m del electrón.
6. Describir los principios asociados con el funcionamiento del espectrógrafo de masas, el ciclotrón, el amperímetro de bobina móvil y el motor eléctrico; describir el efecto transversal de Hall.
7. Describir los dominios magnéticos y el uso del concepto de corriente amperiana para explicar efectos magnéticos.

NOTA PRELIMINAR

En nuestro estudio de la física hemos encontrado dos clases de campos; las masas sufren la influencia de fuerzas, cuando están en la vecindad de otras masas; esta influencia que ejerce una masa sobre otra, se llama campo gravitacional. Las cargas eléctricas también influyen sobre otras cargas eléctricas, y a esta clase de influencia se le llama campo eléctrico. El concepto de campo es uno de los más importantes en la teoría física moderna y en este capítulo asociaremos la influencia que ejerce un imán sobre ciertos objetos (piezas de hierro, conductores portadores de corriente, agujas de brújulas, etc.), con un campo *magnético*. Veremos que los campos magnéticos están estrechamente relacionados con las *corrientes* eléctricas (de hecho, con cualquier carga eléctrica en movimiento).

Sección 1. Imanes, polos magnéticos, campos magnéticos y líneas de campo magnético

1. Un mineral de hierro, llamado magnetita, atrae pequeñas limaduras de hierro, y cuando se suspenden en tal forma que puedan girar libremente en torno a un eje vertical, se alinean generalmente en dirección norte-sur. A una muestra de esta sustancia, o de cualquier otro objeto que se comporte en esta forma, lo llamamos .....

* * * * *

imán

2. Si en alguna forma marcamos un extremo de un imán y le permitimos girar libremente (aislado de la influencia de otros imanes), veremos que un extremo tiende a apuntar siempre hacia el sur. A este extremo lo llamamos polo ..... del imán, y al otro extremo lo llamamos .... del imán.

* * * * *

sur; polo norte

3. Recuerde sus experiencias con imanes; (ambos polos/sólo el polo norte) de un imán atrae limaduras de hierro, clavos de hierro, etc.

* * * * *

ambos polos

4. Cuando se acercan los polos norte de dos imanes, se repelen; cuando se acercan los polos sur de dos imanes, se (atraen/repelen).

* * * * *

repelen

5. Generalizando: polos magnéticos (iguales/opuestos) se atraen; polos magnéticos (iguales/opuestos) se repelen.

* * * * *

opuestos; iguales

6. Las expresiones "polo norte" y "polo sur" con que se denominan los extremos de los imanes, se refieren a lugares geográficos específicos sólo cuando a un imán se le permite girar libremente; alojado en una caja, puesto sobre una mesa o estando bajo la influencia de otros imanes, un imán puede apuntar a este-oeste, noreste-suroeste, etc. De ahora en adelante llamaremos "polo N" y "polo S" a los extremos de un imán. Entonces, la característica importante de un polo S *no es* el hecho de que

apunte a una dirección geográfica específica, sino el hecho de que al acercarlo a otro polo S, se (atraen/repelen) entre sí. Cuando los polos N de dos imanes se acercan entre sí, tienden a (atraerse/repelerse).

* * * * *

repelen; repelerse

7. Una pieza de hierro que no sea en sí un imán (es atraída/es repelida/no es afectada) por el polo N de un imán. (Es atraída/es repelida/no es afectada) por el polo S de un imán.

* * * * *

es atraída; es atraída

8. El hecho de que un trozo de un metal sea atraído por un polo de un imán (es/no es) evidencia suficiente de que la muestra es en sí un imán.

* * * * *

no es

9. Suponga que el extremo de un trozo de un metal es atraído por el polo N de un imán y repelido por el polo S del mismo; esto indica que *ese* extremo de la muestra es en sí el (polo S/polo N) de un imán.

* * * * *

polo S

10. Debemos esperar que el otro extremo de esta muestra de metal sea (atraído/repelido) por el polo N del imán, y (atraído/repelido) por el polo S.

* * * * *

repelido; atraído

11. Materiales como el hierro, el acero, el cobalto, el níquel, etc., que son atraídos por los imanes, pueden *imantarse,* es decir, convertirse en imanes. La *aguja de una brújula* es una pieza pequeña y ligera de acero que ha sido imantada y suspendida en tal forma que puede girar libremente alrededor de un eje vertical; cuando la aislamos de otros imanes, podemos esperar que apunte en una dirección (al azar/norte-sur/este-oeste).

* * * * *

norte-sur

12. La aguja de una brújula (es/no es) en sí un imán; al acercarla a un imán (sólo un extremo/ambos extremos) será(n) atraído(s) por el polo N del imán.

* * * * *

es; sólo un extremo

13. Nos explicamos la orientación aproximada norte-sur de una aguja de brújula aislada, diciendo que reacciona en esta forma al *campo magnético* de la Tierra. Un campo magnético ejerce una fuerza sobre objetos que han sido ..... Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre objetos que han sido .....

* * * * *

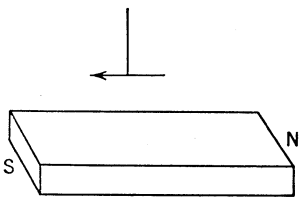
imantados (convertidos en imanes); cargados

14. Al acercar la aguja de una brújula a cualquier imán, éste tiende a alinearla en una dirección definida; esto significa que alrededor de los imanes hay .....

* * * * *

campos magnéticos

15. Al poner la aguja de una brújula (cuyo polo N está en la punta de la flecha y el polo S en la cola) *sobre* el centro de una barra iman-

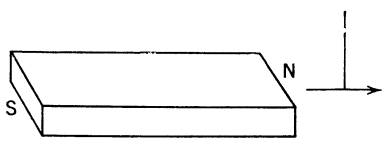


tada, la aguja se alinea en el campo del imán en tal forma que su polo N apunta en la dirección del (polo N/polo S) del imán.

* * * * *

polo S

16. Cuando se pone la aguja de la brújula en el extremo derecho de

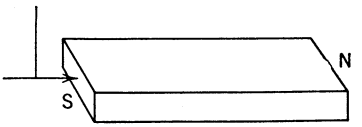


esta barra imantada, se alinea en el campo en tal forma que su polo N apunta (hacia el/alejándose del) polo N del imán.

* * * * *

alejándose del

17. Cuando se pone la aguja de una brújula en el extremo izquierdo de

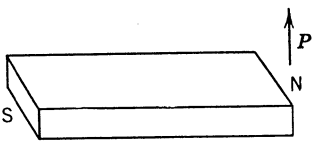


esta barra imantada, se alinea en el ..... del imán en tal forma que su polo N apunta (hacia el/alejándose del) polo S del imán.

* * * * *

campo magnético; hacia el

18. El campo magnético, al igual que el campo eléctrico, es una cantidad ..... Convendremos en que la dirección del campo magnético en un punto será aquella en la que apunte el polo N de la aguja de una brújula al colocarla en dicho punto. La dirección del cam-

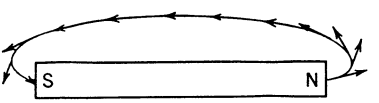


po magnético en P es (paralela/perpendicular) al imán, y (alejándose del/hacia el) polo N del imán.

* * * * *

vectorial; perpendicular; alejándose del

19. Trazamos un campo magnético mediante un conjunto de posiciones en el espacio que circunda a un imán, moviendo una ..... de ..... a través de estas posiciones y observando cómo se alinea



en cada punto. La figura indica que el campo magnético va del polo (N/S) al polo (N/S) en el espacio que circunda al imán.

* * * * *

aguja (de) brújula; N; S

20. Para representar el campo eléctrico que hay en el espacio alrededor de una o más cargas eléctricas usamos las líneas de campo eléctrico; podemos trazar las líneas que sigue el polo N de una aguja de brújula,

al moverla alrededor de un imán en el espacio que lo circunda. Por analogía, a estas líneas las llamamos líneas de .....

* * * * *

campo magnético

21. Veamos el Panel 30. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

A

22. Panel 30. Examine la Fig. 1 y lea el párrafo descriptivo. Las limaduras de hierro esparcidas sobre el espacio que está alrededor de la barra imantada se alinean por sí mismas en el ..... del imán. Las limaduras sugieren trayectorias en el espacio que circunda al imán, que comienzan en el polo .... del imán y terminan en el polo .... del mismo.

* * * * *

campo magnético; N; S

23. Panel 30. La figura 2 representa algunas de las líneas de campo magnético alrededor de una barra imantada. Las líneas de campo magnético las interpretamos en la misma forma que hemos interpretado las líneas de campo eléctrico; por lo tanto, la mayor intensidad de un campo magnético está donde las líneas están más (juntas/separadas).

* * * * *

juntas

24. Panel 30, Fig. 2. El campo magnético es más (fuerte/débil) en A que en B.

* * * * *

débil

25. Panel 30. La figura 3 muestra las líneas de campo magnético en el espacio entre polos magnéticos (iguales/opuestos); el campo magnético es (uniforme/no uniforme) excepto en las orillas.

* * * * *

opuestos; uniforme

26. Panel 30, Fig. 3. Los campos magnéticos en *P* y *T* son (iguales en magnitud y dirección/de distinta magnitud pero paralelos/iguales sólo

en magnitud/diferentes en magnitud y dirección). Los campos magnéticos en *P* y *X* son (iguales/diferentes) en magnitud y dirección.
* * * * *

iguales en magnitud y dirección; diferentes

27. Panel 30, Fig. 3. Este campo magnético debe recordarle un campo eléctrico con propiedades similares. Describa el campo eléctrico.
* * * * *

El campo entre dos grandes placas paralelas con cargas iguales y opuestas. Este campo es uniforme, excepto en los extremos.

28. En un campo magnético, las líneas de campo van (del polo N al polo S/del polo S al polo N).
* * * * *

del polo N al polo S

Sección 2. Campos magnéticos alrededor de conductores con corriente Espiras y alambres rectos largos Reglas de la mano derecha para la dirección del campo y la corriente

1. Una aguja de brújula aislada de otros objetos imantados generalmente se alinea por sí misma en dirección norte-sur; esto se debe a que está bajo la influencia del ..... de .....
* * * * *

campo magnético; la Tierra

2. Al acercar la aguja de una brújula a una barra imantada de hierro, se alinea por sí misma en una dirección definida respecto a los polos de la barra imantada; esto sucede porque está bajo la influencia del .... de la barra de hierro imantada.
* * * * *

campo magnético

3. El campo magnético de la Tierra es muy débil comparado con los campos magnéticos de la mayoría de los objetos imantados tales como barras imantadas; de ahí que la aguja de una brújula se alinee por sí misma con el campo magnético de la Tierra sólo cuando está (aislada de/cerca de) otros objetos imantados.
* * * * *

aislada de

4. El campo magnético de la Tierra es muy (fuerte/débil) comparado con el campo de una barra imantada o de otro objeto también imantado.
* * * * *
débil

5. Hasta ahora sólo hemos considerado los campos magnéticos alrededor de materiales tales como piezas de hierro o acero que han sido imantados, o el campo magnético de la Tierra; no obstante, supondremos que existe un campo magnético dondequiera que una aguja de brújula en libertad de girar adopte una dirección definida en el espacio. Por lo tanto, supondremos que existe un campo magnético en cualquier región del espacio donde la aguja de una brújula en libertad de girar adopte un rumbo (al azar/definido).
* * * * *
definido

6. Vea el Panel 31. La letra en la esquina superior derecha es una ....
* * * * *
Z

7. Panel 31. En la Fig. 1 se ve la aguja de una brújula colocada en el centro de una espira de alambre; cuando fluye una corriente *i* en el alambre, en la dirección indicada, la aguja de la brújula se alinea a lo largo de un eje (perpendicular/paralelo) al plano de la espira.
* * * * *
perpendicular

8. Panel 31, Fig. 1. Esta alineación de la aguja de la brújula en una dirección específica es prueba de que existe un .... en el centro de la espira cuando (hay/no hay) corriente eléctrica en ella.
* * * * *
campo magnético; hay

9. El experimento indica que hay un campo magnético en el espacio alrededor de una espira de alambre *mientras* fluya una corriente por ella. En las figuras 1*b* y 1*c* del Panel 31 la corriente fluye en (la misma dirección/direcciones opuestas) y las agujas de brújula apuntan en (la misma dirección/direcciones opuestas).
* * * * *
direcciones opuestas; direcciones opuestas

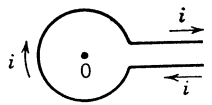
10. Panel 31, Fig. 1. La dirección del campo magnético en un lugar dado es la dirección en que apunta el polo .... de una aguja de brújula

al ponerla en ese lugar. En *(a)*, la dirección del campo magnético en el centro de la espira es hacia (adentro/afuera) de la página.

* * * * *

N; afuera

11. Hay una regla simple para determinar la dirección del campo magnético en el centro de una espira de un alambre con corriente: Forme una espira con los dedos de su mano derecha, con las yemas apuntando en la dirección en que se mueve la corriente en la espira; el pulgar,



extendido, indica la dirección del campo magnético en el centro de la espira. El campo magnético en "0" está dirigido hacia (adentro/afuera) de la página.

* * * * *

adentro

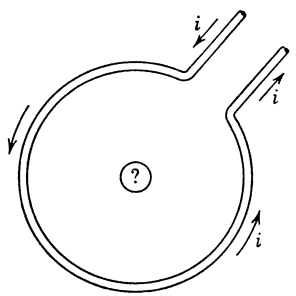
12. A menudo deseamos representar vectores tales como campos magnéticos, yendo hacia adentro o hacia afuera de la página; representaremos con una cruz (×) a un vector *entrando* en la página, y con un punto (·) a un vector que se dirige *hacia afuera* de la página. En esta figura, las × espaciadas uniformemente representan un campo (uniforme/no uniforme), (entrando a/saliendo de) la página.

× × ×
× × ×
× × ×
× × ×

* * * * *

uniforme; entrando a

13. Use la regla de la mano derecha para determinar la dirección del

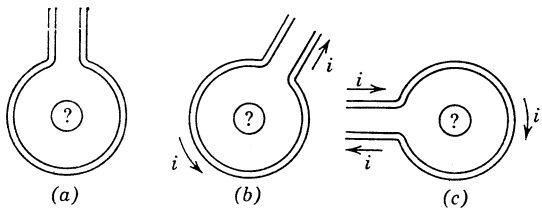


campo magnético producido por i en el centro de la espira. Ponga ($\times$) o ($\cdot$) en el círculo para indicar si el campo entra a la página o sale de ella.

* * * * *

un punto $\odot$

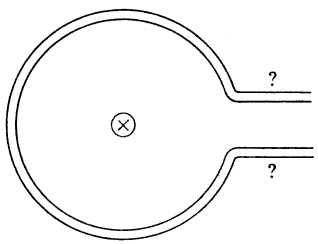
14. Indique con un punto o una cruz en el círculo, la dirección del campo magnético.



* * * * *

en *(a)* nada, porque no hay corriente en la espira; en *(b)*: $\odot$; en *(c)*: $\otimes$

15. En esta figura, la dirección del campo magnético está indicada por la $\times$.



Use la regla de la mano derecha para determinar la dirección de la corriente. La corriente fluye en la espira en el sentido (de las manecillas del reloj/contrario a las manecillas del reloj).

* * * * *

de las manecillas del reloj (el pulgar de la mano derecha apunta hacia adentro de la página y las puntas de los dedos indican la dirección de la corriente en la espira).

16. Hemos visto que hay un campo magnético alrededor de una espira de alambre cuando ..... *(complete la oración).*

* * * * *

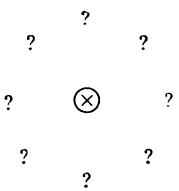
fluye una corriente por el alambre

17. Panel 31. La Fig. 2*(a)* muestra que (hay un/no hay) campo magnético cuando fluye una corriente eléctrica por un alambre recto y largo.

* * * * *

hay un

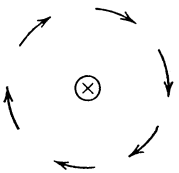
18. Panel 31. Examine la Fig. 2*(b)*. Cuando la corriente en el alambre está emergiendo de la página, el campo magnético alrededor del alam-



bre gira en dirección (de las manecillas del reloj/contraria a las manecillas del reloj). Haga un dibujo de las posiciones que usted cree que tomaría la aguja de una brújula, si la corriente fluyera *hacia adentro* de la página.

* * * * *

contraria a las manecillas del reloj;

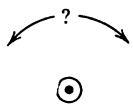


19. Panel 31. La Fig. 2*(c)* indica que las líneas de campo magnético alrededor de un alambre recto y largo con corriente, son ..... concéntricos con su centro común en el centro del alambre. Observe que la intensidad del campo (aumenta/disminuye/permanece constante) al alejarse del alambre.

* * * * *

círculos; disminuye (porque las líneas de campo se van separando entre sí).

20. Para determinar la dirección en que gira un campo magnético alrededor de un alambre recto y largo tenemos otra regla de la mano derecha: agarre el alambre con el pulgar apuntando en la dirección de la corriente; los dedos que abrazan el alambre indican la dirección en que gira el campo magnético. Esta es una sección de un alambre recto y largo con corriente que fluye hacia afuera de la página. Usando la

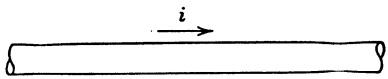


regla de la mano derecha, su pulgar apuntará (hacia adentro/hacia afuera) de la página, y los demás dedos abrazarán el alambre en la dirección (de las manecillas del reloj/contraria a las manecillas del reloj).

* * * * *

hacia afuera; contraria a las manecillas del reloj

21. Este es un tramo de un alambre recto y largo en el que fluye una corriente i como se indica; aplicando la regla de la mano derecha para determinar la forma en que gira el campo magnético alrededor del alam-

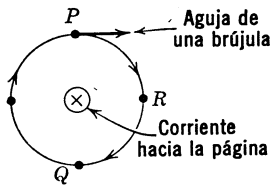


bre, usted debe tomar el alambre en tal forma que su pulgar apunte a la (derecha/izquierda). *Sobre* el alambre, el campo magnético (sale de/entra a) la página, y *bajo* el alambre, el campo (sale de/entra a) la página.

* * * * *

derecha; sale de; entra a

22. En un punto dado de una línea de campo magnético, la dirección del campo es la dirección en que apuntaría el polo .... de una aguja de brújula al colocarla en ese punto. En P el campo magnético es (vertical ascendente/vertical descendente/horizontal hacia la derecha/horizontal hacia la izquierda); en Q el campo magnético es (vertical ascendente/

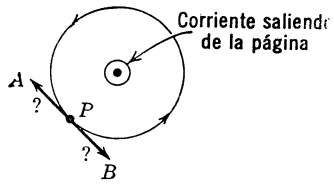


vertical descendente/horizontal hacia la derecha/horizontal hacia la izquierda); en R el campo es (vertical ascendente/vertical descendente/horizontal hacia la derecha/horizontal hacia la izquierda).

* * * * *

N; horizontal hacia la derecha; horizontal hacia la izquierda; vertical descendente.

23. La línea recta que toca a un círculo en un punto se llama tangente.

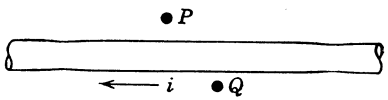


¿Qué tangente (PA/PB) representa el campo magnético en P?

* * * * *

PB

24. Este es un tramo de un alambre recto y largo por el que fluye una corriente *i*. El campo magnético producido por *i* gira alrededor del alambre en tal forma que sale de la página (por arriba/por abajo) del

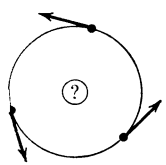


alambre y entra a la página (por arriba/por abajo) del alambre. En *P* el campo apunta hacia (afuera/adentro) de la página, y en *Q* hacia (afuera/adentro) de la página.

* * * * *

por abajo; por arriba; adentro; afuera

25. Use la regla de la mano derecha en conductores rectos y largos para determinar si la corriente (entra a/sale de) la página. Las flechas mues-



tran la dirección del campo en los puntos indicados.

* * * * *

sale de (tome el alambre con las puntas de los dedos en la dirección de la rotación del campo; el pulgar indica la dirección de la corriente).

Sección 3. Fuerza magnética sobre un alambre con corriente $\vec{F}_B \perp i$
$\vec{F}_B \perp \vec{B}$
Regla de la mano derecha para determinar la dirección de $\vec{F}_B$

1. Veamos el Panel 32. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....
* * * * *

D

2. Panel 32. En cada una de las figuras está representado por puntos o cruces uniformemente espaciados un campo magnético uniforme al que llamaremos *B*. En la Fig. 1, *B* está dirigido hacia (adentro/afuera) de la página. En cada una de las figuras hay un conductor a través del campo; la sección *PQ* del conductor es flexible y, en las figuras 1 y 3, está combado bajo la influencia de su p.....
* * * * *

adentro; peso

3. Panel 32. En cada una de las figuras, los puntos o cruces que representan a $\vec{B}$ están espaciados uniformemente; esto significa que la magnitud de $\vec{B}$ es (constante/variable). En la Fig. 5, la dirección de $\vec{B}$ es hacia (adentro/afuera) de la página.
* * * * *

constante; afuera

4. Panel 32. Observe que en cada una de las figuras el campo magnético es (paralelo/perpendicular) al plano de la página, y que el conductor es (paralelo/perpendicular) al mismo plano. En todos los casos, el campo magnético y el conductor son (paralelos/perpendiculares) entre sí.
* * * * *

perpendicular (porque entra a la página o sale de ella); paralelo (porque corre por la superficie de la página); perpendiculares.

5. Panel 32. En la Fig. 1 (hay/no hay) corriente fluyendo en el conductor.
* * * * *

no hay

6. Panel 32. En la Fig. 2 (hay/no hay) corriente en el conductor, y la sección PQ (está/no está) combada bajo la influencia de su propio peso; esto significa que $\vec{B}$ (ejerce/no ejerce) una fuerza sobre el conductor cuando fluye una corriente en él.

* * * * *

hay; no está; ejerce

7. Panel 32. En la Fig. 3 (hay/no hay) corriente en PQ, y $\vec{B}$ (ejerce/no ejerce) una fuerza sobre PQ.

* * * * *

no hay; no ejerce

8. Panel 32. En la Fig. 4, el campo magnético (ejerce/no ejerce) una fuerza sobre PQ, porque hay ..... en el conductor.

* * * * *

ejerce; corriente

9. Panel 32. En las figuras 4 y 5 compare las fuerzas magnéticas sobre PQ; tienen (la misma dirección/direcciones opuestas).

* * * * *

direcciones opuestas

10. Panel 32. Examine las figuras 4 y 5. ¿Cómo explica usted el cambio de dirección de la fuerza magnética sobre PQ?

* * * * *

la *dirección* del campo magnético $\vec{B}$ en la Fig. 4 ha sido invertida en la Fig. 5.

11. Panel 32. Examine las figuras 4 y 6 y explique el hecho de que las fuerzas magnéticas sobre PQ tengan direcciones opuestas.

* * * * *

la corriente fluye en dirección *opuesta*

12. Vea el Panel 33. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

G

13. Panel 33. La Fig. 1 es una ilustración tridimensional de la Fig. 6 del Panel 32 y muestra que la fuerza magnética $\vec{F}_B$ producida por una

..... al circular por un conductor que está en un ..... es (paralela/perpendicular) a i y a $\vec{B}$.

* * * * *

corriente eléctrica; campo magnético; perpendicular

14. Hemos visto que un campo eléctrico $\vec{E}$ ejerce una fuerza eléctrica $\vec{F}_E$ sobre una carga q; escribimos $\vec{F}_E = \vec{E}q$, y esto nos dice que $\vec{F}_E$ y $\vec{E}$ son (paralelos/perpendiculares) entre sí.

* * * * *

paralelos

15. Panel 33, Fig. 1. Ahora vemos que un campo magnético $\vec{B}$ ejerce una fuerza magnética $\vec{F}_B$ sobre un conductor que transporta una .... a través del campo. $\vec{F}_B$ y $\vec{B}$ siempre son (paralelos/perpendiculares) entre sí.

* * * * *

corriente; perpendiculares

16. También hemos visto (en las figuras 4 y 6 del Panel 32) que la dirección de $\vec{F}_B$ depende tanto de la dirección de .... como de la dirección de $\vec{B}$.

* * * * *

la corriente en PQ (o i)

17. Panel 33. En la Fig. 2 tenemos una representación tridimensional de la situación mostrada en la Fig. 2 del Panel 32. $\vec{F}_B$ es (paralela/perpendicular) a la corriente, y (paralela/perpendicular) al campo magnético.

* * * * *

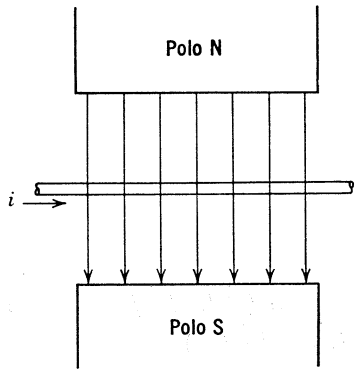
perpendicular; perpendicular

18. Para determinar la dirección exacta de $\vec{F}_B$ usamos otra vez la regla de la *mano derecha* que relaciona a $\vec{F}_B$ con $\vec{B}$ e i; esta regla se aplica a la Fig. 2 del Panel 33; lea el párrafo descriptivo; si el campo magnético lo suministran los polos de un imán, las puntas de los dedos se extenderán hacia el polo .... del imán.

* * * * *

S (porque es la dirección en que apuntaría el polo N de la aguja de una brújula).

19. Panel 33. Para practicar, aplique la regla de la mano derecha a la Fig. 1, y en seguida aplíquela a la figura de este cuadro. $\vec{F}_B$ se dirigirá hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera

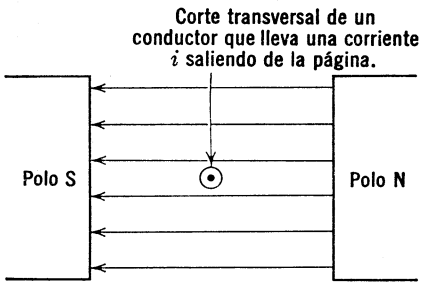


de la página). (¡Probablemente usted ya comprendió por qué esta clase de problemas conduce a dislocamientos de muñeca!)

* * * * *

adentro de la página (los dedos hacia abajo y el pulgar hacia la derecha; entonces, la palma de su mano derecha deberá quedar frente a la página).

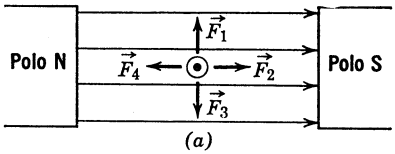
20. Aquí $\vec{F}_B$ es (paralela a $\vec{B}$/paralela y opuesta a $\vec{B}$/perpendicular a $\vec{B}$ y hacia arriba/perpendicular a $\vec{B}$ y hacia abajo).



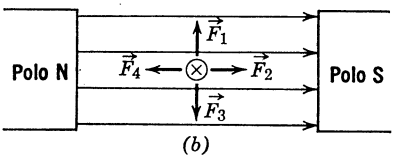
* * * * *

perpendicular a $\vec{B}$ y hacia abajo

21. Use la regla de la mano derecha para determinar $\vec{F}_B$ en las figuras *(a)* y *(b)* Observe las direcciones de las corrientes, indicadas por ⊙ y ⊗.



(a)



(b)

En la Fig. *(a)*, $\vec{F}_B$ tiene la misma dirección de $(\vec{F}_1/\vec{F}_2/\vec{F}_3/\vec{F}_4)$; en la Fig. *(b)*, $\vec{F}_B$ tiene la misma dirección de $(\vec{F}_1/\vec{F}_2/\vec{F}_3/\vec{F}_4)$.

* * * * *

$\vec{F}_1$; $\vec{F}_3$

22. La existencia de una fuerza magnética sobre un tramo de alambre depende de la ..... en el alambre y del ..... en que se coloque el alambre.

* * * * *

corriente; campo magnético

23. La fuerza eléctrica sobre una carga siempre es (paralela/perpendicular) al campo *eléctrico* en que se encuentre la carga; la fuerza magnética sobre un tramo de un conductor con corriente introducido en un campo magnético, siempre es (paralela/perpendicular) al campo magnético; su dirección exacta también depende de la ..... en el conductor.

* * * * *

paralela; perpendicular; corriente

Sección 4. Fuerzas magnéticas (continuación)
Fuerza magnética sobre la longitud l de un alambre: $F_B = Bil$
Campo en la vecindad a un alambre recto y largo: $B = k\frac{i}{d}$
Fuerza magnética entre dos alambres largos paralelos: $F_B = k\frac{i_1 i_2 l}{d}$;
$k = 2 \times 10^{-7}$ newton/amp^2
Campo en el centro de una espira:
$B = 2\pi \times 10^{-7}\frac{i}{r}$

1. Veamos el Panel 34. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

J

2. Panel 34. Vea la Fig. 1. Queremos establecer una relación entre F_B y $\vec{B}$, l e i; l es la longitud de la sección del conductor que está dentro del campo magnético; la corriente fluye en l de (izquierda a derecha/derecha a izquierda) en el plano de la página; $\vec{B}$ está dirigido hacia (afuera/adentro) del plano de la página.

* * * * *

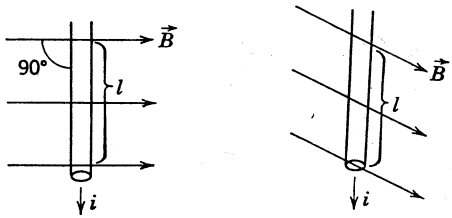
derecha a izquierda; afuera

3. Panel 34, Fig. 1. El experimento indica que la magnitud de $\vec{F}_B$ es directamente proporcional al producto de B, i y l. Sea k una constante de proporcionalidad adecuada; entonces, $\vec{F}_B =$ ..... La dirección de $\vec{F}_B$ es (la misma de $\vec{B}$/la misma de i/perpendicular a i y $\vec{B}$).

* * * * *

$F_B = kBil$; perpendicular a $\vec{B}$ e i

4. $F_B = kBil$ es estrictamente cierto sólo cuando $\vec{B}$ y l son perpendiculares entre sí. No obstante que $\vec{F}_B$ siempre es perpendicular a l (o sea la dirección de i en el campo) y a $\vec{B}$, *no es* necesariamente cierto que $\vec{B}$ y l

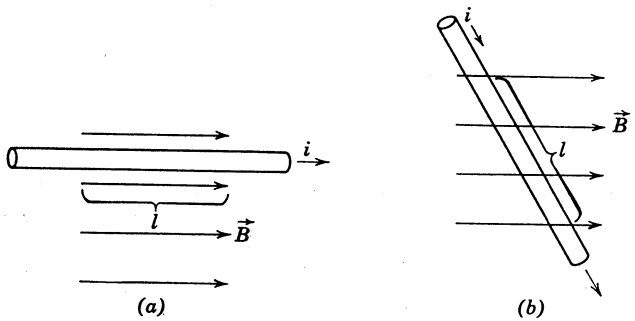


son perpendiculares entre sí. En *(a)*, l y $\vec{B}$ (son/no son) perpendiculares; en *(b)*, l y $\vec{B}$ (son/no son) perpendiculares.

* * * * *

son; no son

5. En *(a)*, $\vec{B}$ y l (son/no son) perpendiculares; en *(b)*, $\vec{B}$ y l (son/no son) perpendiculares.



* * * * *

no son; no son

6. En general, usaremos la ecuación $F_B = kBil \operatorname{sen} \theta$ para encontrar la fuerza magnética sobre un tramo de alambre l con una corriente i, donde θ es el ángulo entre $\vec{B}$ y l. Cuando $\vec{B}$ y l son perpendiculares, $\theta =$ .....°; cuando $\vec{B}$ y l son paralelos (vea el cuadro 5, Fig. *(b)*), el ángulo entre $\vec{B}$ y l es de .....°.

* * * * *

90; 0

7. Sen 90° = 1; Sen 0° = 0; $F_B = kBil \operatorname{sen} \theta$

Cuando B y l son perpendiculares, esta ecuación se convierte en: $F_B =$ .....; cuando B y l son paralelos entre sí, $F_B =$ .....

* * * * *

kBil; 0 ó cero.

8. A menos que se especifique lo contrario, consideraremos únicamente aquellas situaciones donde $\theta = 90°$; así, usaremos la ecuación más simple $F_B = kBil$, que podemos simplificarla posteriormente, si escogemos una unidad para medir el campo magnético que haga a $k = 1$; cuando lo hagamos, la ecuación para la fuerza magnética, en función de B, i y l se convertirá en .....

* * * * *

$F_B = Bil$

9. Definiremos nuestra unidad de campo magnético como sigue: es la cantidad de campo que ejerce una fuerza de 1 *newton* sobre 1 *metro* de alambre por el que fluye una corriente de 1 *amperio*, introducido perpendicularmente en ese campo.

(1) $F_B = Bil$.

(2) Despejando B: $B =$ ..... *(en símbolos)*.

Sustituya en (2) con las unidades dadas en la definición anterior y deduzca la unidad de campo magnético, que es: .....
.....

* * * * *

$B = \dfrac{F_B}{il}$; $B =$ newton/amperio-metro

10. Ahora tenemos una unidad para medir la magnitud del campo magnético, que es el ..... por .....

* * * * *

newton (por) amperio-metro

11. Panel 34, Fig. 1. Suponga $F_B = 0.05$ newton, $l = 0.25$ metro e $i = 10$ amp. Calcule la magnitud de $\vec{B}$.

* * * * *

$F_B = Bil$

$$B = \frac{F_B}{il} = \frac{0.05 \text{ newton}}{(10 \text{ amp})\,(0.25 \text{ m})} = 2 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m}$$

12. Panel 34, Fig. 1. Si $l = 1.5$ m, $i = 5$ amp y la magnitud del campo magnético es de 3×10^{-3} newton/amp-m, calcule la fuerza magnética sobre el alambre.

* * * * *

$F_B = Bil = (3 \times 10^{-3} \text{ newton/amp-m})\,(5 \text{ amp})\,(1.5 \text{ m}) = 2.25 \times 10^{-2}$ newton

13. Panel 34, Fig. 1. $B = 2 \times 10^{-3}$ newton/amp-m; $l = 0.75$ m; $i = 3$ amp. $\vec{F}_B =$ ..... *(magnitud);* su dirección es hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

$F_B = Bil = (2 \times 10^{-3}$ nt/amp-m) (3 amp) (0.75 m) $= 4.50 \times 10^{-3}$ newton; hacia arriba.

14. Hemos definido una unidad de B llamada .... Para usar correctamente la ecuación $F_B = Bil$ con esta unidad, i debe medirse en ..... y l en .....

* * * * *

newton/amp-metro; amperios; metros

15. $l = 10$ cm; $B = 10$ newton/amp-m; $i = 25$ amp;
$\vec{F}_B =$ .....

* * * * *

$F_B = Bil$

$l = 10$ cm $= 0.10$ m

$F_B =$ (10 newtons/amp-m) (25 amp) (0.10 m) $= 25$ newtons

16. En la sección 2 de este capítulo y en el Panel 31, aprendimos que una corriente en un alambre recto y largo produce un .... que se extiende desde el alambre en círculos concéntricos.

* * * * *

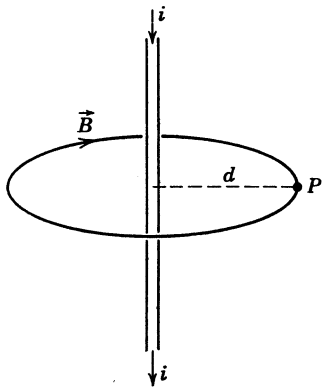
campo magnético

17. El experimento muestra que la magnitud del campo magnético alrededor de un alambre recto y largo con corriente es directamente proporcional a la corriente en el alambre y (vea la Fig. 2*c* del Panel 31) (directamente/inversamente) proporcional a la distancia del alambre.

* * * * *

inversamente

18. Sea k una constante de proporcionalidad apropiada; entonces, en P: $B =$ ..... (en función de i, d, etc.).



* * * * *

$B = k\frac{i}{d}$

19. Panel 34. La Fig. 2 muestra dos alambres paralelos largos por los que fluyen corrientes en (la misma dirección/direcciones opuestas). Cada corriente produce un ..... que se irradia en el espacio y ejerce una ..... sobre el otro alambre.

* * * * *

la misma dirección; campo magnético; fuerza magnética

20. Panel 34, Fig. 2. El campo magnético $\vec{B}$ de i_1 es (paralelo/perpendicular) a i_2 donde pasa a través de l. La fuerza magnética que ejerce este campo sobre i_2 es tal que los dos alambres se (atraen/repelen).

* * * * *

perpendicular; atraen

21. Panel 34, Fig. 2.

(1) La fuerza F_B que ejerce el campo $\vec{B}$ producido por i_1 sobre una sección l del alambre por el que fluye i_2 es $F_B =$ .....

(2) La magnitud de B producido por i_1 a una distancia d es:

$B = k$ .....

* * * * *

$F_B = Bi_2l$; $B = k\frac{i_1}{d}$

22. Panel 34, Fig. 2.

(1) $F_B = Bi_2l$.

(2) $B = k\dfrac{i_1}{d}$.

(3) Sustituyendo en (1) el valor de B dado en (2): $F_B =$ .....

* * * * *

$k\dfrac{i_1 i_2 l}{d}$

23. Panel 34, Fig. 2. $F_B = k\dfrac{i_1 i_2 l}{d}$.

Esta es una ecuación para la fuerza magnética entre alambres rectos y largos (paralelos/perpendiculares) separados por una distancia (l/d). Si i_1 e i_2 tienen la misma dirección, los alambres se (atraen/repelen); si i_1 e i_2 tienen direcciones opuestas, los alambres se (atraen/repelen).

* * * * *

paralelos; d; atraen; repelen

24. Panel 34, Fig. 2. $F_B = k\dfrac{i_1 i_2 l}{d}$

k es una constante que puede determinarse experimentalmente; si i_1 e i_2 se miden en amperios, F_B en newtons y d y l en metros, despeje k y determine sus unidades.

* * * * *

$$k = \frac{F_B d}{l i_1 i_2} = \frac{(\text{newtons})\,(\cancel{\text{metros}})}{(\cancel{\text{metros}})\,(\text{amperios})^2} = \text{newtons/amp}^2$$

25. Panel 34, Fig. 2. Cuando F, d, l e i se miden en newtons, metros, metros y amperios, respectivamente, la constante de proporcionalidad se determina experimentalmente como $k = 2 \times 10^{-7}$ newtons/amp^2. Suponiendo que $i_1 = 10$ amp y $d = 0.5$ m, el campo magnético producido por i_1 en l es: ..... newton/amp-m.

* * * * *

$$B = k\frac{i_1}{d}\,(2 \times 10^{-7}\ \text{newton/amp}^2)\left(\frac{10\ \text{amp}}{0.5\ \text{m}}\right) = 4.0 \times 10^{-6}$$

newton/amp-m.

26. Panel 34, Fig. 2. Sean $i_1 = 10$ amp e $i_2 = 15$ amp. Si $d = 0.5$ m y $l = 2$ m, calcule la magnitud de F_B sobre l.

* * * * *

$$F_B = k\frac{i_1 i_2 l}{d} = \frac{(2 \times 10^{-7})\,(10)\,(15)\,(2)}{0.5} = 1.2 \times 10^{-4}\ \text{newton}$$

27. El experimento indica que la magnitud del campo magnético $\vec{B}_l$ en el centro de una *espira* de alambre es directamente proporcional a la corriente i en el alambre, e inversamente proporcional al radio r del mismo. Use k_l como constante de proporcionalidad y escriba una ecuación para B_l: .....

* * * * *

$$B_l = k_l \frac{i}{r}$$

28. k_l se ha determinado experimentalmente, siendo su valor $2\pi \times 10^{-7}$ newton/amp^2; hemos visto que el valor de k para un alambre recto largo se encontró ser de ..... newton/amp^2.

* * * * *

2×10^{-7}

29. Use $\pi = 3.14$; una espira de alambre de 0.05 m de radio transporta una corriente de 1.2 amperios. Calcule la magnitud del campo magnético $\vec{B}_l$ en su centro.

* * * * *

$$B_l = k_l \frac{i}{r} = 2\pi \times 10^{-7} \text{ newton/amp}^2 \frac{(1.2 \text{ amp})}{(0.05 \text{ m})}$$

$$= \frac{(2)(3.14)(10^{-7})(1.2)}{0.05} \text{ newton/amp-m} = 1.51 \times 10^{-5}$$

newton/amp-m.

30. Veamos el Panel 35. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

M

31. Panel 35. Lea el problema 1. En la parte *(a)*, el campo que produce la espira 1 en el centro común de las espiras es ..... *(número)*.

* * * * *

cero ó 0

32. Panel 35, problema 1. En la parte *(a)*, calcule el campo magnético $\vec{B}_3$ producido en 0 por i_3 en la espira 3. Use la regla de la mano derecha para espiras, para determinar su dirección. Use $\pi = 3.14$.

$\vec{B}_3 =$ ..... newton/amp-m hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

$$B_3 = k_l \frac{i_3}{r_3} = (2\pi \times 10^{-7}) \frac{(10)}{(0.10)}$$

$$= (2)(3.14)(10^{-5}) = 6.28 \times 10^{-5} \text{ newton/amp-m}$$

(agarrando con su mano derecha la espira 3 en dirección de la corriente, su dedo pulgar debe apuntar *hacia abajo).*

33. Panel 35, problema 1*(a)*. $\vec{B}_2 =$ ..... *(magnitud y dirección).*

* * * * *

$\vec{B}_2 = k_l \frac{i_2}{r_2} = 2\pi \times 10^{-7} \frac{(10)}{0.25} = 2.51 \times 10^{-5}$ newton/amp-m; arriba

34. Panel 35, problema 1*(a)*. El campo magnético resultante $\vec{B}$ en 0 es la ..... de B_3 y B_2.

$\vec{B} =$ ..... *(magnitud y dirección).*

* * * * *

suma vectorial;

$\vec{B}_3 = 6.28 \times 10^{-5}$ newton/amp-m, hacia abajo;

$\vec{B}_2 = 2.51 \times 10^{-5}$ newton/amp-m, hacia arriba;

$\vec{B} = 3.77 \times 10^{-5}$ newton/amp-m, hacia abajo.

35. Panel 35, problema 1. Sean $\vec{B} = \vec{B}_2 + \vec{B}_3$ y $\vec{B}'$ = campo resultante en 0, cuando $i_1 = 10$ amp. Si $\vec{B}_1$ es el campo magnético en 0 debido a i_1, entonces $\vec{B}' =$ .... + ... Las reglas de la mano derecha indican que la dirección de $\vec{B}_1$ es hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

$\vec{B} + \vec{B}_1$; adentro de la página

36. Panel 35, problema 1*(b)*. En la parte *(a)* encontramos que la dirección de $\vec{B}$ es hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página). $\vec{B}$ y $\vec{B}_1$ son (paralelos/paralelos y opuestos/perpendiculares).

* * * * *

abajo; perpendiculares

37. Panel 35, problema 1*(b)*. Puesto que $\vec{B}_1$ y $\vec{B}$ son perpendiculares, usaremos el teorema de ..... para encontrar la magnitud de su suma vectorial; primero, $B_1 =$ ..... newton/amp-m, y en seguida, $B' =$ ..... newton/amp-m.

* * * * *

Pitágoras;

$B_1 = k_l \frac{i_1}{r_1} = 2.51 \times 10^{-5}$ newton/amp-m

$(B')^2 = (B)^2 + (B_1)^2 = (3.77 \times 10^{-5})^2 + (2.51 \times 10^{-5})^2 =$
$= 20.5 \times 10^{-10}$

$B' \approx 4.5 \times 10^{-5}$ newton/amp-m

38. Panel 35. Lea el problema 2. Primero consideraremos los lados AB y DC del rectángulo: la magnitud de la fuerza magnética media sobre AB es (igual/distinta) a la de la fuerza magnética media sobre DC; la corriente en AB fluye (paralela/paralela y opuesta/perpendicular) a la corriente en DC; las fuerzas magnéticas medias sobre AB y DC tienen (la misma dirección/direcciones opuestas).

* * * * *

igual; paralela y opuesta; direcciones opuestas

39. Panel 35, problema 2. La suma vectorial de las fuerzas magnéticas en AB y DC (es/es mayor que) cero.

* * * * *

es

40. Panel 35, problema 2. Ahora consideraremos los lados AD y BC: el campo magnético $\vec{B}_1$ producido por la corriente en el alambre recto y largo es:

(a) paralelo a la corriente en AD;

(b) paralelo y opuesto a la corriente en AD;

(c) perpendicular a la corriente en AD y hacia adentro de la página;

(d) perpendicular a la corriente en AD y hacia afuera de la página.

* * * * *

(c)

41. Panel 35, problema 2. Use la regla de la mano derecha para determinar la dirección de las fuerzas magnéticas y encontrar así la fuerza magnética sobre AD. F_B sobre AD está dirigida hacia (arriba/abajo/la izquierda/la derecha).

* * * * *

con los dedos hacia adentro de la página, el pulgar hacia arriba, la palma de la mano derecha indica hacia la **izquierda.**

42. Panel 35, problema 2. La fuerza magnética F_B que ejerce un alambre con una corriente i_1 sobre la longitud l de otro alambre paralelo a

él, con una corriente i_2 y separados por una distancia d, está dada por la ecuación: $F_B =$ .....

* * * * *

$$F_B = k\frac{i_1 i_2 l}{d}$$

43. Panel 35, problema 2. La fuerza magnética sobre AD es de .... newton ..... *(dirección).*

* * * * *

$$F_B = \frac{(2 \times 10^{-7})\,(20)\,(10)\,(0.30)}{0.10} = 10 \times 10^{-5} \text{ newton; hacia la izquierda}$$

44. Panel 35, problema 2. Considere la fuerza magnética sobre el lado BC del rectángulo; use la regla de la mano derecha para determinar su dirección, que es hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda).

* * * * *

Cuando los dedos apuntan a la página y el pulgar hacia abajo, la palma de la mano derecha queda hacia la **derecha.**

45. La fuerza magnética que ejerce sobre BC la corriente en el alambre recto y largo es de ..... newton hacia .....

* * * * *

$$F_B = k\frac{i_1 i_2 l}{d} = \frac{(2 \times 10^{-7})\,(20)\,(10)\,(0.30)}{0.20} = 6 \times 10^{-5} \text{ newton; hacia la}$$

derecha.

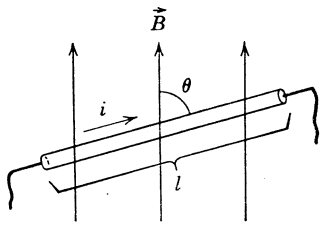
46. Panel 35, problema 2. Calcule la fuerza magnética resultante de i_1 sobre la espira rectangular: $\vec{F}_B =$ ..... *(magnitud y dirección).*

* * * * *

6×10^{-5} newton *hacia la derecha* y 12×10^{-5} newton *hacia la izquierda* dan una suma vectorial de 6×10^{-5} newton **hacia la izquierda.**

Sección 5. Fuerza magnética sobre una partícula cargada: $F_B = BvQ$
Aceleración centrípeta de una partícula cargada dentro de un campo magnético uniforme
Invariancia del período con la velocidad
Uso de campos eléctrico y magnético como selector de velocidades: $v = \frac{E}{B}$

1. En la sección 4 de este capítulo vimos que un tramo de alambre de longitud l por el que fluye una corriente i y dentro de un campo $\vec{B}$, sufre una fuerza magnética. Escriba una ecuación para la magnitud de esta



fuerza, en función de i, l, B y θ, como se indica en la figura. Use k como constante de proporcionalidad.

* * * * *

$F_B = kBil \operatorname{sen} \theta$

2. (1) $F_B = kBil \operatorname{sen} \theta$. Si B se mide en ..... *(unidades)*, entonces $k = 1$; si l y B son perpendiculares, entonces sen θ = ... *(número)* y la ecuación (1) se convierte en: .....

* * * * *

newton/amp-m; 1; $F_B = Bil$

3. Vea la figura del cuadro 1. Cuando no hay corriente en l (hay/no hay) fuerza magnética sobre ella.

* * * * *

no hay

4. Una corriente es una medida de la cantidad de ..... que pasa a través de una sección dada, por unidad de ..... En símbolos, i = ...

* * * * *

carga; tiempo; $\frac{Q}{t}$

5. (1) $F_B = Bil$. (2) Puesto que $i = \frac{Q}{t}$; (3) sustituya la i de (1) con el miembro derecho de (2); entonces: $F_B =$ .....

* * * * *

$B\frac{Q}{t}l$

6. (1) $F_B = Bil$; (2) $i = \frac{Q}{t}$; (3) $F_B = B\frac{Q}{t}l = BQ\frac{l}{t}$;

(4) $\frac{l}{t}$ es la ..... con que se mueve una partícula cargada a través de la longitud l de un alambre.

* * * * *

rapidez

7. (1) $F_B = Bil$; (2) $i = \frac{Q}{t}$; (3) $F_B = BQ\frac{l}{t}$; (4) $v = \frac{l}{t}$;

(5) por lo tanto $F_B =$ ..... *(en función de B, v y Q).*

* * * * *

BvQ

8. Si una carga Q se mueve a través de un campo magnético B, sufre una fuerza magnética F_B que es (directamente/inversamente) proporcional a su rapidez, y (directamente/inversamente) proporcional a su carga.

* * * * *

directamente; directamente

9. De $F_B = Bil$ dedujimos $F_B = BvQ$. Recordando las condiciones bajo las que dedujimos la ecuación anterior, B debe medirse en .... *(unidades), i* en ..... *(unidades)* y l en ..... *(unidades);* esto significa que $F_B = BvQ$ se puede usar sólo cuando B está dado en ....., v en ..... y Q en .....

* * * * *

newton/amp-m; amperios; metros; newton/amp-m; m/seg; culombios

10. $F_B = Bil$ también supone que l y B son (paralelos/perpendiculares) entre sí.

* * * * *

perpendiculares

11. $F_B = BvQ$ puede usarse sólo cuando v y B son (paralelos/perpendiculares) entre sí. Cuando el ángulo entre l y B es θ, $F_B = Bil$ .....

* * * * *

perpendiculares; sen θ

12. Escriba una ecuación para $\vec{F}_B$, en función de B, v, Q y θ.

* * * * *

$F_B = BvQ$ sen θ

13. Generalizando, si una carga Q medida en culombios, se mueve a una velocidad $\vec{v}$ a través de un campo magnético $\vec{B}$, la fuerza magnética que ejerce el campo sobre la carga es $F_B =$ ..... donde θ es el ángulo entre .... y .... *(use símbolos).*

* * * * *

BvQ sen θ; $\vec{B}$ y $\vec{v}$

14. Recuerde que cuando l y $\vec{B}$ son paralelos, sen $\theta =$ .... *(número)*, y la fuerza magnética sobre l es .... *(número)*.

* * * * *

0; 0 ó cero

15. Si una carga Q se mueve a una velocidad $\vec{v}$ paralela a $\vec{B}$ (sufre/no sufre) una fuerza debida al campo magnético.

* * * * *

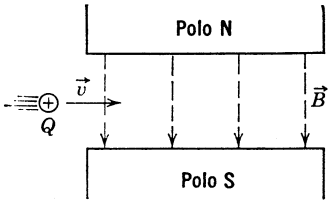
no sufre (porque sen $\theta = 0$)

16. A menos que se especifique lo contrario, supondremos que $F_B = BvQ$ es adecuada para nuestros problemas. En otras palabras, supondremos que sen $\theta =$ ...., lo cual es cierto sólo si la velocidad de la carga y el campo magnético son (paralelos/perpendiculares).

* * * * *

1; perpendiculares

17. Una partícula con una carga de 12.8×10^{-19} culombio se mueve en un campo magnético $B = 3 \times 10^{-3}$ newton/amp-m con una rapidez de $v = 6 \times 10^{5}$ m/seg. Calcule la magnitud de la fuerza magnética F_B sobre Q.



* * * * *

$F_B = BvQ = (3 \times 10^{-3}$ newton/amp-m$)(6 \times 10^5$ m/seg$)(12.8 \times 10^{-19}$ culombio$)$

$= 2.3 \times 10^{-15} \dfrac{\text{newton culombio}}{\text{amp seg}} = 2.3 \times 10^{-15} \dfrac{\text{newton culombio}}{(\text{cul/seg}) \cdot (\text{seg})}$

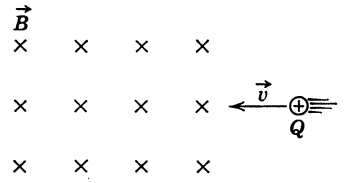
$= 2.3 \times 10^{-15}$ newton

18. Para determinar la dirección de $\vec{F}_B$ en el cuadro anterior, aplicaremos la siguiente regla de la mano derecha: Extienda los dedos en la dirección del campo, con el pulgar apuntando en la dirección del movimiento de la carga $(+)$; entonces, la dirección de $\vec{F}_B$ será alejándose de la palma de la mano. En el cuadro anterior, la dirección de la $\vec{F}_B$ es hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

adentro de la página

19. Vemos aquí una carga $Q = 3 \times 10^{-15}$ culombio que se mueve en un campo magnético:



$\vec{B} = 4 \times 10^{-6}$ newton/amp-m dirigido hacia adentro de la página; su rapidez es $v = 2 \times 10^6$ m/seg.

$\vec{F}_B =$ ..... *(magnitud),* hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).

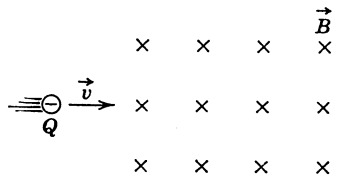
* * * * *

$\vec{F}_B = BvQ = (4 \times 10^{-6})(2 \times 10^6)(3 \times 10^{-15}) = 2.4 \times 10^{-14}$ newton.

Para determinar la dirección: los dedos de la mano derecha hacia adentro de la página; con el pulgar hacia la izquierda, la palma de la mano queda **hacia abajo.**

20. Q es una carga de -6×10^{-15} culombio, moviéndose a una rapidez $v = 5 \times 10^5$ m/seg en un campo $\vec{B} = 5 \times 10^{-5}$ newton/amp-m. Calcule la magnitud de $\vec{F}_B$ (de momento, ignore el signo de Q).

* * * * *



$\vec{F}_B = BvQ = (5 \times 10^{-5})(5 \times 10^5)(6 \times 10^{-15}) = 1.5 \times 10^{-13}$ newton.

21. Para encontrar la dirección de $\vec{F}_B$ en el cuadro anterior, alteraremos la regla de la mano derecha, para usarla en cargas *negativas,* como sigue: el pulgar apuntará en dirección *opuesta* a la de la velocidad de la partícula; los dedos se extenderán otra vez en la dirección del campo y la posición final de la palma indicará la dirección de $\vec{F}_B$. La dirección de $\vec{F}_B$ en el cuadro anterior es hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

abajo (porque con los dedos extendidos hacia adentro de la página y el pulgar apuntando a la izquierda, la palma de la mano queda hacia abajo).

22. Medite sobre los resultados de la aplicación de la regla de la mano derecha para determinar la dirección de $\vec{F}_B$ sobre una carga moviéndose a una velocidad $\vec{v}$ dentro de un campo magnético $\vec{B}$. La regla indica que $\vec{F}_B$ siempre es (paralela a $\vec{B}$ y perpendicular a $\vec{v}$/paralela a $\vec{v}$ y perpendicular a $\vec{B}$/perpendicular a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$/paralela a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$).

* * * * *

perpendicular a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$

23. Panel 34, Fig. 3. Una partícula cargada que se mueve dentro de un campo magnético *uniforme* es acelerada continuamente por una fuerza (paralela/perpendicular) a su velocidad. En mecánica aprendimos que tal fuerza (aumenta/disminuye/no afecta) la rapidez del objeto al cual se aplica; cambia la dirección de la velocidad en tal forma que la partícula se mueve en una trayectoria (rectilínea/circular).

* * * * *

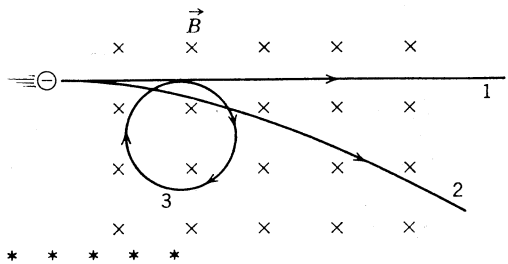
perpendicular; no afecta; circular

24. Un campo magnético *uniforme* ejerce una fuerza sobre una carga en movimiento dentro de él, imprimiéndole una aceleración (uniforme/centrípeta). Bajo la influencia de este campo, la carga se mueve con una rapidez (constante/variable) en una trayectoria (rectilínea/circular).

* * * * *

centrípeta; constante; circular

25. Conforme el electrón va entrando a este intenso campo magnético, ¿qué trayectoria seguirá, la 1, la 2 o la 3?



* * * * *

la 3

26. La fuerza magnética sobre una partícula cargada que se mueve en un campo magnético es centrípeta si el campo magnético es (uniforme/no uniforme).

* * * * *

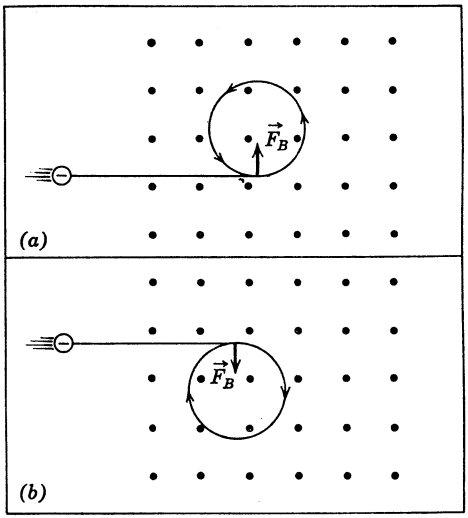
uniforme

27. Panel 35. Lea el problema 3. Una vez que el electrón está en este campo magnético, bajo la influencia de él seguirá la trayectoria de un .....

* * * * *

círculo (vea el Panel 34, Fig. 3)

28. Panel 35, problema 3. Aplique la regla de la mano derecha a este *electrón,* al entrar al campo. ¿Cuál de estas trayectorias circulares seguirá, la *(a)* o la *(b)?*



* * * * *

La F_B inicial es hacia arriba, por lo tanto, el electrón seguirá la trayectoria mostrada en *(a)*.

29. Panel 35, problema 3. La carga de un electrón es .... carga elemental, y en culombios es de .....

* * * * *

-1; -1.6×10^{-19}

30. Panel 35, problema 3. Calcule la fuerza magnética sobre el electrón.

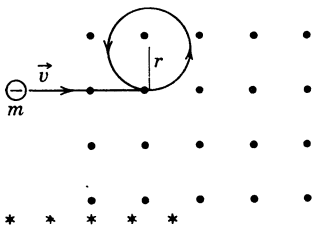
* * * * *

$F_B = BvQ$

$F_B = (1 \times 10^{-2})\,(4 \times 10^{7}\ \text{m/seg})\,(1.6 \times 10^{-19}\ \text{culombio}) =$

$= 6.4 \times 10^{-14}$ newton

31. Panel 35, problema 3. Considerada como una fuerza *magnética*, $F_B = BvQ$; considerada como una fuerza centrípeta, $F_B =$ ..... *(en función de m, v y r)*.



* * * * *

$\dfrac{mv^2}{r}$

32. Veamos la figura del cuadro anterior.

(1) $F_B = BvQ$;

(2) $F_B = \dfrac{mv^2}{r}$;

(3) de (1) y (2): $BvQ =$ .....;

(4) despejando r en (3): $r =$ .....

* * * * *

$\dfrac{mv^2}{r}$; $BvQ = \dfrac{mv^2}{r}$; $r = \dfrac{mv}{BQ}$

33. Panel 35, problema 3. Calcule el radio de la trayectoria del electrón dentro del campo magnético. $r =$ ..... metro.

* * * * *

$$r = \frac{mv}{BQ} = \frac{(9 \times 10^{-31})(4 \times 10^{7})}{(1 \times 10^{-2})(1.6 \times 10^{-19})} = 2.25 \times 10^{-2} \text{ metro}$$

34. Panel 35, problema 3. Sea T el período de revolución del electrón en esta trayectoria circular. En función de r y v, $T =$ .....

* * * * *

$\dfrac{2\pi r}{v}$

35. Panel 35, problema 3. Calcule el período de revolución del movimiento del electrón en este campo: $T =$ .... seg.

* * * * *

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2(3.14)(2.25 \times 10^{-2})}{4 \times 10^{7}} = 3.53 \times 10^{-9} \text{ seg}$$

36. (1) $r = \dfrac{mv}{BQ}$; (2) $T = \dfrac{2\pi r}{v}$.

(3) Sustituya la r en (2), con el miembro derecho de (1). Entonces, $T =$ .....

* * * * *

$$T = \frac{2\pi}{v}\frac{mv}{BQ} = \frac{2\pi m}{BQ}$$

37. $T = \dfrac{2\pi m}{BQ}$. Esta ecuación nos indica que el tiempo necesario para

que tenga lugar una revolución completa de la carga Q en un campo uniforme B (depende/es independiente) de la rapidez de la partícula.

* * * * *

es independiente

38. Panel 35, problema 3. $r = \dfrac{mv}{BQ}$. Esto nos indica que el radio de la trayectoria de una carga Q en un campo uniforme B (aumenta/disminuye) al aumentar la rapidez de la partícula.

* * * * *

aumenta

39. Las partículas veloces requieren círculos (grandes/pequeños); partículas más lentas requieren círculos (más grandes/más pequeños). $T = \dfrac{2\pi m}{BQ}$ nos indica que las partículas veloces requieren (más tiempo/menos tiempo/el mismo tiempo) que las partículas más lentas para dar una revolución completa en el campo.

* * * * *

grandes; más pequeños; el mismo tiempo

40. Panel 35. Lea el problema 4. Determine las direcciones de $\vec{F}_B$ y $\vec{F}_E$. $\vec{F}_B$ está dirigida hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página/la izquierda/la derecha). $\vec{F}_E$ está dirigida hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página/la izquierda/la derecha). $\vec{F}_B$ y $\vec{F}_E$ son (paralelas/paralelas y opuestas/perpendiculares) entre sí.

* * * * *

arriba; abajo; paralelas y opuestas

41. Panel 35, problema 4. Q *no es desviada* si las magnitudes de $\vec{F}_B$ y $\vec{F}_E$ son (iguales/distintas).

* * * * *

iguales

42. Panel 35, problema 4.

(1) Si Q no es desviada, entonces $F_B = F_E$.

(2) $F_B = BvQ$ y $F_E = EQ$.

(3) Si Q no es desviada, entonces, de (3): $BvQ =$ .....

(4) Por lo tanto, $v =$ ..... *(en función de B y E)* cuando Q no es desviada.

* * * * *

EQ; $v = E/B$, puesto que $BvQ = EQ$

43. Panel 35, problema 4. Calcule en m/seg la rapidez a que se moverá Q sin desviarse, debido a esta combinación de campos magnético y eléctrico.

* * * * *

$$v = \frac{E}{B} = \frac{1.5 \times 10^3 \text{ newtons/culombio}}{2.0 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m}} = 7.5 \times 10^4 \text{ amp-m/culombio}$$

$$= 7.5 \times 10^4 \frac{\cancel{\text{cul}}}{\text{seg}} \times \frac{\text{m}}{\cancel{\text{cul}}} = 7.5 \times 10^4 \text{ m/seg}$$

44. Panel 35, problema 4. La combinación de campos magnético y eléctrico mostrada en este problema se emplea a veces como selector de *velocidad.* Unicamente aquellas partículas cargadas que se muevan con una rapidez dada por la razón ..... pasarán a través de este dispositivo sin ser .....

* * * * *

$\frac{E}{B}$; desviadas

Sección 6. El cañón electrónico; el experimento de Thomson: Medida de $\frac{q_e}{m_e}$

Nota: Hemos visto que tanto los campos magnéticos como los eléctricos ejercen fuerzas sobre partículas cargadas. El efecto de un campo magnético se limita a cargas en movimiento no paralelo al campo. En las siguientes secciones examinaremos algunos experimentos y dispositivos que utilizan fuerzas magnéticas y eléctricas para investigar fenómenos físicos; entre ellos están el cañón electrónico (usado en cámaras de televisión), el ciclotrón y el espectrógrafo de masa.

1. Veamos el Panel 36. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

L

2. Panel 36. Vea la Fig. 1 Este dispositivo es un tubo al vacío; a la izquierda hay una batería A que calienta un *filamento*. Cuando el filamento se calienta a alta temperatura, "evapora" .....; esto se conoce como emisión ter.....

* * * * *

electrones; termoiónica

3. Panel 36, Fig. 1. P es una placa metálica con un orificio a través del cual pueden pasar electrones a la cámara derecha del tubo; la batería B mantiene una alta diferencia de potencial V entre esta placa y el f.....
Sea q_e la carga de un electrón. Un electrón que comienza a partir del reposo en F y se mueve a través del campo bajo la influencia de V, cuando llega a la placa, tiene una energía cinética igual a ..... (en función de V y q_e).

* * * * *

filamento; q_eV

4. Panel 36, Fig. 1. Suponga que la diferencia de potencial suministrada por V sea de 5000 voltios; la carga de un electrón es 1.6×10^{-19} culombio. Un electrón que parte de F, al pasar a través del orificio en P tiene una energía cinética de ..... julio.

* * * * *

$E_k = q_eV = (1.6 \times 10^{-19}$ culombio$)(5000$ voltios$) = 8 \times 10^{-16}$ julio

5. Panel 36, Fig. 1. Esta combinación de: baterías A y B, filamento y placa, constituye un dispositivo llamado *cañón electrónico*. El cañón electrónico suministra electrones con una cantidad específica de energía ....., para emplearlos en experimentos en la cámara del lado derecho del tubo.

* * * * *

cinética

6. Panel 36, Fig. 1. (1) En función de su masa m y su rapidez v, cuando un electrón llega al orificio P, su energía cinética es $E_k =$ .....
(2) En función de la diferencia de potencial V mantenida en el .....
electrónico y la carga q_e del electrón, la energía cinética de un electrón, cuando llega al orificio en P es $E_k =$ .....

* * * * *

$(\frac{1}{2})mv^2$; cañón; q_eV

7. Panel 36, Fig. 1.

(1) $E_k = (\frac{1}{2})mv^2$;

(2) $E_k = q_e V$;

(3) igualando los miembros derechos de (1) y (2) y despejando v:

$v =$ .....

* * * * *

$$(\tfrac{1}{2})mv^2 = q_e V \qquad v^2 = \frac{2q_e V}{m} \qquad v = \sqrt{2q_e V/m}$$

8. Panel 36, Fig. 1. Calcule la rapidez con que un electrón sale del cañón electrónico, si la batería B mantiene una diferencia de potencial de 200 voltios y la carga de un electrón es 1.6×10^{-19} culombio. Use $m = 9 \times 10^{-31}$ kg.

* * * * *

$$v = \sqrt{\frac{2q_e V}{m}} \quad \sqrt{\frac{(2)\,(1.6 \times 10^{-19})\,(2000)}{9 \times 10^{-31}}}$$

$$= \sqrt{\frac{64 \times 10^{14}}{9}} = \frac{8}{3} \times 10^7 = 2.67 \times 10^7 \text{ m/seg}$$

9. Panel 36, Fig. 1. A la derecha del cañón electrónico hay un juego de placas paralelas; si estas placas *no tienen* carga, un electrón que sale del cañón (se/no se) desvía y sigue la trayectoria (*NK*/*NG*) hacia la pantalla.

* * * * *

no se; *NK*

10. Panel 36, Fig. 1. Cuando la placa superior está cargada positivamente y la inferior negativamente, un electrón que parte del cañón (se/no se) desvía y sigue la trayectoria (*NG*/*NK*).

* * * * *

se desvía; *NG*

11. Panel 36, Fig. 1. Cuando existe un campo E entre las placas, hay una fuerza eléctrica sobre un electrón que actúa (paralelamente/perpendicularmente) a la trayectoria horizontal que tiene el electrón al partir del cañón.

* * * * *

perpendicularmente

12. Panel 36. La Fig. 2 es una ampliación de la parte del tubo al vacío donde están las placas paralelas. La fuerza eléctrica sobre un electrón

cuando éste está entre las placas (cambia/no cambia) la componente de la velocidad del electrón paralela a las placas.

* * * * *

no cambia

13. Panel 36, Fig. 2. Sea $\vec{v}$ la componente horizontal de la velocidad de un electrón que parte del cañón; el intervalo de tiempo Δt durante el cual actúa una fuerza eléctrica perpendicular a $\vec{v}$, depende de v y de la longitud l que el electrón recorre entre las placas, o sea que $\Delta t =$ ..... *(en función de* v y l*).*

* * * * *

$\frac{l}{v}$ ó $\frac{\text{distancia}}{\text{rapidez}}$

14. Panel 36, Fig. 2. (1) La fuerza eléctrica $F_e =$ ..... en función de E y q_e; (2) F_e produce una aceleración a (perpendicular/paralela) a $\vec{v}$.

* * * * *

Eq_e; perpendicular

15. Panel 36, Fig. 2.

(1) $F_e = Eq_e$;

(2) De acuerdo con la segunda ley de Newton, $F_e =$ ..... *(en función de la masa m del electrón y la aceleración perpendicular a);*

(3) igualando los miembros derechos de (1) y (2) y despejando a: $a =$ .....

* * * * *

ma; $Eq_e = ma$; $a = \frac{Eq_e}{m}$

16. Panel 36, Fig. 2. La deflexión (desviación) y es el resultado de una fuerza (uniforme/no uniforme); la distancia a que el electrón es desviado por esta fuerza es $y =$ ..... *(en función de* a y Δt*).*

* * * * *

uniforme; $y = (\frac{1}{2})a(\Delta t)^2$ (porque ésta es una forma de movimiento uniformemente acelerado).

17. Panel 36, Fig. 2. (1) $y = (\frac{1}{2})a(\Delta t)^2$;
(2) $a =$ ..... *(en función de* E, q_e y m*),* y $(\Delta t)^2 =$ ..... *(en función de* v y l*);* (3) $y =$ ..... *(en función de* E, l, q_e, m y v*).*

* * * * *

$a = \frac{Eq_e}{m}$

$$\Delta t = \frac{l}{v} \text{ y } (\Delta t)^2 = \frac{l^2}{v^2}$$

$$y = \tfrac{1}{2}a(\Delta t)^2 = \tfrac{1}{2}\frac{Eq_e}{m} \cdot \frac{l^2}{v^2};\ y = \frac{Eq_e l^2}{2mv^2}$$

18. Panel 36. Vea la Fig. 3 y lea el párrafo descriptivo; aquí, el campo eléctrico está dirigido hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página); al aplicar el campo magnético, se dirige hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

arriba; adentro de la página

19. Panel 36, Fig. 3. Use la regla de la mano derecha para determinar el efecto del campo magnético sobre un electrón que parte del cañón. El campo desvía al electrón hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

abajo (los dedos hacia adentro de la página, el pulgar *opuesto* a la dirección del movimiento del electrón, la palma de la mano hacia abajo).

20. Cuando se aplican ambos campos, el eléctrico y el magnético, sus efectos son en (la misma dirección/direcciones opuestas); cuando no se aplica *ningún* campo, los electrones del cañón chocan con la pantalla en el punto . . . . ; cuando se aplica únicamente *E*, los electrones del cañón chocan con la pantalla en . . . .

* * * * *

direcciones opuestas; *K*; *G*

21. Panel 36, Fig. 3. Cuando se aplica el campo *E* en las placas, la deflexión que produce en la trayectoria de un electrón que pase entre ellas (Fig. 2) está dada por una ecuación que ya hemos deducido y que es: $y = \frac{Eq_e l^2}{2mv^2}$. Thomson pudo medir la distancia *GK* en la pantalla, y con ésta calculó *y*; no conocía q_e o *m* y quiso calcular la razón $\frac{q_e}{m}$; resolvió la ecuación anterior para esta razón y obtuvo $\frac{q_e}{m} =$ . . . . . .

* * * * *

$\frac{2yv^2}{El^2}$

22. Panel 36, Fig. 3. $\frac{q_e}{m} = \frac{2yv^2}{El^2}$.

En esta ecuación, E, y y l son fáciles de medirse por la geometría y estructura del tubo al vacío. Thomson no pudo medir v directamente; sin embargo, cuando él ajustó B a un valor con el que el haz chocó de nuevo en K, supo que los efectos de E y B (se cancelaban/se reforzaban) entre sí.

* * * * *

se cancelaban

23. Panel 36, Fig. 3. Sea B_0 el campo magnético que anula a E exactamente. Cuando se aplican B_0 y E a los electrones del cañón, éstos (se desvían hacia G/se desvían hacia abajo de K/no se desvían). En este caso, $v =$ ..... *(en función de* B_0 y E*).*

* * * * *

no se desvían; $\frac{E}{B_0}$

24. Panel 36, Fig. 3.

(1) $\frac{q_e}{m} = \frac{2yv^2}{El^2}$

(2) $v = \frac{E}{B_0}$

(3) $\frac{q_e}{m} =$ ..... *(en función de* E, B_0, l y y*).*

* * * * *

$$\frac{q_e}{m} = \frac{2yv^2}{El^2} = \frac{2y}{El^2}\left(\frac{E^2}{B_0{}^2}\right)$$

$$\frac{q_e}{m} = \frac{2yE}{l^2B_0{}^2}$$

25. $\frac{q_e}{m} = \frac{2yE}{l^2B_0{}^2} = 1.7 \times 10^{11}$ culombios/kg, de acuerdo con el experimento de Thomson. Thomson no conocía ni q_e ni m; trató de encontrar la razón de la ..... del electrón a la ..... del mismo. Hoy sabemos que $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg y $q_e = 1.6 \times 10^{-18}$ culombio. Con estos datos, calcule q_e/m y compárela con el valor experimental de Thomson.

* * * * *

carga; masa; $\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ culombios}}{9.1 \times 10^{-31}} = 1.76 \times 10^{11}$ culombios/kg

La exactitud lograda por Thomson fue muy buena.

Sección 7. El espectrómetro de masas. $R = m\left(\frac{E}{B^2 q}\right)$

1. Vea el Panel 37. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

P

2. Panel 37. Vea la Fig. 1. Los iones (positivos/negativos) se introducen a este dispositivo a través de la abertura S_1. Los iones son átomos que han perdido o ganado uno o más .....

* * * * *

positivos; electrones

3. Panel 37, Fig. 1. Los iones que entran por S_1 vienen de una cámara en la que los átomos han (perdido/ganado) electrones.

* * * * *

perdido

4. Panel 37, Fig. 1. Un dispositivo que en principio se semejante a un cañón electrónico, pero que acelera iones positivos en vez de electrones, envía iones con una rapidez *variable,* a través de S_1. P_1 y P_2 son placas paralelas con cargas eléctricas opuestas; estas placas suministran un campo ..... uniforme a través del espacio entre S_1 y S_2.

* * * * *

eléctrico

5. Panel 37, Fig. 1. Las marcas ($\times$) representan un campo magnético uniforme $\vec{B}$ (hacia adentro/hacia afuera) de la página. En el espacio entre S_1 y S_2, el campo eléctrico $\vec{E}$ y el campo magnético $\vec{B}$ son (paralelos/perpendiculares) entre sí. A un ion positivo, cuyo recorrido es hacia abajo, al pasar a través de este espacio $\vec{E}$ tiende a desviarlo hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página); en la misma forma, $\vec{B}$ tiende a desviarlo hacia (arriba/abajo/la derecha/la izquierda/adentro de la página/afuera de la página).

* * * * *

hacia adentro; perpendiculares; la izquierda; la derecha

6. Panel 37, Fig. 1. Los iones positivos entran por S_1 con rapidez variable; sólo aquellos iones que tienen una rapidez igual a la razón ..... pasarán a través de la cámara *sin ser desviados.*

* * * * *

$\frac{E}{B}$

7. Panel 37, Fig. 1. Los iones que entran por S_1 con una rapidez mayor o menor que E/B (se desvían/no se desvían) y (pasan a través de la abertura en S_2/se estrellan contra S_2).

* * * * *

se desvían; se estrellan contra S_2

8. Panel 37, Fig. 1. Los iones que pasan a través del espacio entre S_1 y S_2 sin desviarse, tienen (la misma velocidad/velocidades diferentes).

* * * * *

la misma velocidad

9. Panel 37, Fig. 1. Suponga $\vec{B} = 2 \times 10^{-2}$ newton/amp-m y $\vec{E} = 2 \times 10^3$ newtons/culombio, en el espacio entre S_1 y S_2. La rapidez de cualquien ion que emerge de S_2 es de ..... m/seg.

* * * * *

$$v = \frac{E}{B} = \frac{2 \times 10^3 \text{ newtons/culombio}}{2 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m}} = 10^5 \text{ m/seg}$$

10. Panel 37, Fig 1. En este dispositivo, la parte entre S_1 y S_2 se llama *selector de velocidades,* y está construido en tal forma que la ..... de los iones que pasan a través de él sin desviarse está determinada por los ..... y ..... colocados en él.

* * * * *

rapidez; campos magnético (y) eléctrico

11. Panel 37, Fig. 1. Después de que un ion emerge de S_2, queda bajo la influencia de ($\vec{B}$ y $\vec{E}$/$\vec{B}$ únicamente/$\vec{E}$ únicamente/ni B ni E).

* * * * *

$\vec{B}$ únicamente

12. Panel 37, Fig. 1. En este dispositivo, un ion que emerge del selector de ..... entra a un campo ..... (uniforme/no uniforme). El efecto de este campo sobre una carga en movimiento es introducirla en una trayectoria (rectilínea/circular). En otras palabras,

la fuerza que ejerce este campo actúa como fuerza (gravitacional/centrípeta).

* * * * *

velocidades; magnético; uniforme; circular; centrípeta

13. Panel 37, Fig. 1. Sean m y q la masa y la carga de un ion respectivamente que emerge de S_2; si v es su rapidez y R el radio de su trayectoria bajo la influencia de $\vec{B}$, entonces:

(1) $F_B =$ ..... *(en función del campo, la carga y la rapidez);*

(2) $F_B =$ ..... *(en función de la masa, el radio y la rapidez);*

(3) $R =$ ..... *(en función de la masa, la carga, el campo y la rapidez).*

* * * * *

(1) $F_B = BvQ$

(2) $F_B = \dfrac{mv^2}{R}$

(3) $BvQ = \dfrac{mv^2}{R}$; $R = \dfrac{mv}{Bq}$

14. Panel 37, Fig. 1.

(1) $R = \dfrac{mv}{Bq}$

(2) $v =$ ..... (en función de los campos magnético y eléctrico del selector).

(3) $R =$ ..... (en función de E, B, m y q).

* * * * *

$$v = \frac{E}{B}$$

$$R = \frac{m(E/B)}{Bq} = \frac{mE}{B^2q}$$

15. Panel 37, Fig. 1. $R = m\left(\dfrac{E}{B^2q}\right)$

Los valores de E y B los determina el dispositivo y se pueden mantener constantes. Supongamos que la carga de todos los iones positivos que entran al dispositivo es la misma; entonces, R es (directamente/inversamente) proporcional a la ..... del ion.

* * * * *

directamente; masa

16. Panel 37, Fig. 1. Supongamos que por S_1 entran únicamente iones de hidrógeno cargados positivamente. Puesto que un átomo de hidrógeno sólo puede liberar un electrón, los iones de hidrógeno que entran por S_1 tienen (la misma carga/diferentes cargas). Si todos los iones de hidrógeno tienen la misma masa, debemos esperar que todos los que emerjan de S_2 choquen con la placa fotográfica en (el mismo punto/diferentes puntos).

* * * * *

la misma carga; el mismo punto

17. Panel 37, Fig. 1. $R = m\left(\frac{E}{B^2q}\right)$

Si los iones de hidrógeno que emergen de S_2 chocan con la placa fotográfica en los puntos M_1 y M_2, tenemos una prueba de que (todos/no todos) los iones de hidrógeno tienen la misma masa.

* * * * *

no todos

18. Panel 37, Fig. 1. $R = m\left(\frac{E}{B^2q}\right)$ Los iones de hidrógeno que exponen la placa fotográfica en M_1, tienen masa (igual a/menor que/mayor que) la masa de los iones que exponen la placa en M_2.

* * * * *

mayor que (porque están en el semicírculo de mayor radio)

19. Panel 37, Fig. 1. El experimento indica de hecho que los iones de hidrógeno exponen la placa en dos posiciones. Los átomos de *un mismo* elemento que tienen masas *diferentes* se llaman *isótopos* de ese elemento. El experimento indica que hay por lo menos .... *(número)* isótopos de hidrógeno.

* * * * *

dos ó 2

20. Es relativamente fácil ionizar átomos de cualquier elemento dado, en tal forma que cada ion tenga la misma carga; esto significa que el número de exposiciones en la placa fotográfica de iones de cualquier elemento dado es una indicación del número de ..... que existen de ese elemento.

* * * * *

isótopos

21. Panel 37, Fig. 2. Las manchas negras indican puntos en donde ha sido expuesta la placa fotográfica de la Fig. 1. Hay por lo menos ..... isótopos de germanio, y por lo menos seis de .....

* * * * *

cinco *ó* 5; selenio

22. Panel 37. La Fig. 2 indica que los átomos de cobre ocurren con ..... diferentes .....; estos átomos se llaman ..... de .....

* * * * *

dos ó 2; masas; isótopos (de) cobre

23. Los isótopos son ..... (del mismo elemento/de diferentes elementos) con (la misma masa/diferente masa).

* * * * *

átomos; del mismo elemento; diferente masa

24. Panel 37, Fig. 1. El dispositivo mostrado aquí se llama *espectrómetro de masa;* nos permite separar ..... del mismo elemento, que tienen diferente .....

* * * * *

isótopos; masa

25. El ..... de masa es un dispositivo que nos permite separar iones del mismo elemento con diferentes masas. Las fotografías de la Fig. 2 del Panel 37 son ..... de masa de los elementos cobre, germanio y selenio.

* * * * *

espectrómetro; espectros

26. En un espectrómetro de masa, $R = m\left(\frac{E}{B^2q}\right)$ E, B, q y R se conocen, o se pueden medir. Podemos usar esta ecuación para calcular las ..... de los diferentes ..... de cualquier elemento dado.

* * * * *

masas; isótopos

27. En un experimento con un espectrómetro de masa, la distancia del centro de la trayectoria de un ion al punto en que expone la placa, es d. Escriba una ecuación para m en función de B, E, q y d.

* * * * *

$$R = m\left(\frac{E}{B^2q}\right)$$

$$R = d$$

$$m = \frac{dB^2q}{E}$$

Sección 8. El ciclotrón

1. Veamos el Panel 38. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

C

2. Panel 38. La Fig. 1 es un dibujo de un dispositivo llamado .... ; consiste de dos semicilindros llamados ....., debido a su forma, y están introducidos en un campo ..... uniforme (paralelo/perpendicular) a sus bases.

* * * * *

ciclotrón; Des; magnético; perpendicular

3. Panel 38, Fig. 1. Las Des están (puestas en contacto entre sí/separadas por un claro). El dispositivo completo está colocado dentro de una cámara de la que se ha extraído el aire. El espacio alrededor y dentro de las Des (está/no está) al vacío.

* * * * *

separadas por un claro; está

4. Panel 38, Fig. 1. Cada De está conectada a una terminal de un dispositivo que mantiene una diferencia de potencial eléctrico entre las Des; este dispositivo se llama ..... de .....

* * * * *

oscilador (de) alta frecuencia

5. Panel 38, Fig. 1. El oscilador de alta frecuencia mantiene una diferencia de potencial eléctrico a través del claro que hay entre las Des, poniendo una carga positiva en una De, al mismo tiempo que pone una carga negativa en la otra De. En la Fig. 2, cuando D_1 es (+), D_2 es (+/−).

* * * * *

(−)

6. Panel 38, Fig. 2. El oscilador de alta frecuencia *alterna* la carga en D_1, de (+) a (−) después de un intervalo de tiempo T específico; entonces, después de otro intervalo más, igual a T, cambia la carga en D_1, de (−) a (+). Durante el tiempo T en que D_1 es (+), D_2 es (+/−); cuando D_1 vuelve a cargarse negativamente, D_2 vuelve a cargarse (positivamente/negativamente).

* * * * *

(−); positivamente

7. Panel 38, Figs. 1 y 2. La función del oscilador de alta frecuencia es la de ..... las cargas en D_1 y D_2 cada T seg; se llama oscilador de "alta frecuencia" porque hace esto *con gran rapidez*. Por tanto, T es un (largo/corto) intervalo de tiempo.

* * * * *

alternar (cambiar, variar, etc.); corto

8. Panel 38, Fig. 2. Suponga que la fuente S libera un ion positivo hacia el claro que hay entre las Des cuando D_1 es negativa. El campo eléctrico en el claro entre las Des empuja al ion en dirección a (D_1/D_2).

* * * * *

D_1

9. Panel 38, Fig. 2. El ion positivo se mueve en dirección a D_1; una vez que está dentro de D_1 (hay una fuerza/no hay fuerza) de campo eléctrico sobre él, porque el campo dentro de un conductor hueco cargado es ..... *(número)*.

* * * * *

no hay fuerza; cero

10. Panel 38. Cuando hay un ion en el claro entre las Des (hay una/no hay) fuerza eléctrica actuando sobre él. Cuando el ion está en el claro, una fuerza eléctrica (trabaja/no trabaja) sobre él, y su energía cinética (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

hay una; trabaja; aumenta

11. Panel 38. Dentro de D_1 (hay una/no hay) fuerza eléctrica sobre el ion, y (hay una/no hay) fuerza magnética sobre él.

* * * * *

no hay; hay una

12. Panel 38. Una fuerza magnética siempre es perpendicular a la velocidad de una partícula cargada; esto significa que, dentro de D_1 (hay un/no hay) cambio en la rapidez del ion, y que su energía cinética, también dentro de D_1 (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

no hay; permanece constante

13. Panel 38. El efecto del campo magnético es darle una trayectoria ..... al ion en movimiento. El campo (magnético/eléctrico) no aumenta la rapidez o la energía cinética del ion. El campo (magnético/eléctrico) se usa para aumentar la rapidez y la energía cinética del ion.

* * * * *

circular; magnético; eléctrico

14. Panel 38. Considere lo que sucede cuando el ion positivo se movió en una trayectoria semicircular y está próximo a salir de D_1 para volver a entrar al claro entre las Des. Si D_1 permanece (−) y D_2 permanece (+), el campo eléctrico en el claro actúa en tal forma que (aumenta/disminuye) la rapidez del ion conforme va hacia D_2.

* * * * *

disminuye (porque la carga positiva de D_2 repelerá al ion positivo, es decir, la fuerza eléctrica de tal campo actúa sobre el ion positivo en dirección a D_1, contra el movimiento del ion).

15. Panel 38. Sin embargo, si el oscilador de alta frecuencia cambia los signos de las cargas en D_1 y D_2 a (+) y (−), respectivamente, en el momento en que el ion entra de nuevo al claro, entonces el nuevo campo eléctrico a través del claro actúa para (aumentar/disminuir) la energía cinética del ion. Explique su respuesta.

* * * * *

aumentar (D_2 se hace (−) y D_1 se hace (+); ahora el ion es atraído hacia D_2; se le aplica una fuerza que aumenta su rapidez).

16. Panel 38. Entonces el ion se mueve a través del claro, de D_1 a D_2; cuando entra a D_2 su energía cinética es (mayor que/menor que/igual a) la que tenía al salir de D_1. Dentro de D_2 se mueve en una trayectoria ..... debido al efecto del campo ..... dentro de la De.

* * * * *

mayor que; circular *o* semicircular; magnético

17. Panel 38. Esta vez, el radio de la trayectoria semicircular es (mayor/menor) que cuando estaba en D_1, porque la ..... y la ...

..... del ion es mayor cuando entra en D_2 que cuando entró en D_1.

* * * * *

mayor; rapidez; energía cinética

18. Panel 38. Cuando el ion está por entrar de nuevo al claro entre las Des, nuestro oscilador cambia convenientemente los signos de las cargas en las Des, para que D_1 sea otra vez $(-)$ y D_2 sea $(+)$. Si el oscilador puede hacer esto cada vez que el ion esté listo para cruzar el claro, entonces, cada vez que el ion lo cruce su energía cinética (aumentará/disminuirá).

* * * * *

aumentará

19. Panel 38. El efecto del campo eléctrico alterno a través de las Des es aumentar la ..... del ion cada vez que cruce el claro. El objeto del campo magnético es enrollar la trayectoria del ion en tal forma que tenga que cruzar el claro muchas veces. El campo magnético (cambia/no cambia) la rapidez del ion.

* * * * *

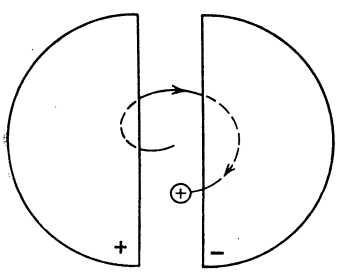
energía cinética; no cambia

20. Panel 38. El ion no recorre una sola trayectoria circular porque cada vez que entra a una De se mueve (más aprisa/más despacio) de como se movió la última vez que entró en esa De; esto significa que los radios de sucesivos recorridos semicirculares dentro de las Des, son (mayores/menores/iguales). La trayectoria total del ion es (un círculo/una espiral/una línea recta).

* * * * *

más aprisa; mayores; una espiral

21. El objeto del ciclotrón es aumentar la energía cinética de iones que se muevan dentro de él. Uno de los problemas básicos en la operación del ciclotrón es asegurar que el oscilador cambie los signos de las cargas



en las Des en el momento preciso. Si el oscilador cambia los signos de las cargas en las Des como están en esta figura, en el momento en que el ion está cerca del centro del claro, el ion (gana/pierde) energía cinética al moverse en el resto de su recorrido. Este (es/no es) un uso efectivo del ciclotrón.

* * * * *

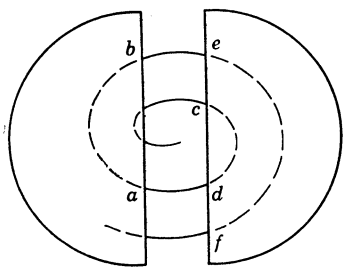
pierde; no es

22. Un oscilador cambia *periódicamente* los signos de las cargas en las Des; esto significa que lo hace en intervalos de tiempo (iguales/desiguales).

* * * * *

iguales

23.



Si el oscilador va a cambiar los signos de las cargas en estas Des en los instantes más efectivos, tendremos que asegurarnos de que el ion recorra trayectorias semicirculares como *ab, cd* y *ef* en intervalos de tiempo (iguales/desiguales).

* * * * *

iguales

24. Veamos la figura del cuadro anterior. El ion recorrerá las trayectorias semicirculares *ab, cd, ef,* etc., en iguales intervalos de tiempo T, si T es (directamente proporcional al/inversamente proporcional al/independiente del) radio de la trayectoria semicircular.

* * * * *

independiente del

25. La fuerza magnética sobre un ion cuando está en una De, es una fuerza ....., porque mueve al ion en una trayectoria (semi) circular.

F_B = ... en función de B, q y v.

F_B = ... en función de m, v y R.

* * * * *

centrípeta; Bvq; $\frac{mv^2}{R}$

26. Panel 38. (1) $F_B = Bvq$; (2) $F_B = \frac{mv^2}{R}$.

(3) $\frac{mv^2}{R} = Bvq$: v = ...

* * * * *

$\frac{mv^2}{R} = Bvq$; por lo tanto, $v = \frac{BqR}{m}$

27. Panel 38.

(1) La rapidez del ion siempre que está dentro de una De, está dada por la ecuación: v = ... Esto significa que al agrandarse el radio semicircular, el ion se mueve más (aprisa/despacio).

(2) Sea T el tiempo que emplea un ion en moverse en su trayectoria semicircular a través de una De. πR es la distancia que recorre en una De; por lo tanto, v = ... en función de T, π y R.

* * * * *

$\frac{BqR}{m}$; aprisa; $\frac{\pi R}{T}$ (porque πR representa media circunferencia).

28. (1) $v = \frac{BqR}{m}$. (2) $v = \frac{\pi R}{T}$.

(3) Igualando los miembros derechos de (1) y (2) y despejando T: T = ...

* * * * *

$\frac{BqR}{m} = \frac{\pi R}{T}$

$T = \frac{\pi \cancel{R} m}{Bq\cancel{R}} = \frac{\pi m}{Bq}$

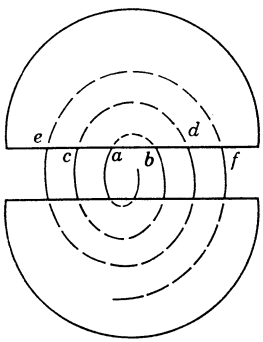
29. Panel 38. $T = \frac{\pi m}{Bq}$. T es el ..... que emplea un ion en un ciclotrón en moverse a través de su trayectoria semicircular en una De.

Note que T es (directamente proporcional al/inversamente proporcional al/independiente del) radio de tal trayectoria.

* * * * *

tiempo; independiente del

30. Panel 38. Hemos demostrado que el tiempo que emplea un ion en recorrer la distancia semicircular *ab* es (mayor que el/menor que el/igual al) tiempo que toma ese mismo ion para recorrer la distancia semicircular *ef*.



* * * * *

igual al

31. Panel 38. El oscilador de alta frecuencia debe ajustarse para que cambie los signos de las cargas en D_1 y D_2 a intervalos de tiempo (iguales/desiguales). El intervalo de tiempo se puede calcular con la ecuación: $T = \ldots\ldots$

* * * * *

iguales; $\dfrac{\pi m}{Bq}$

32. $T = \dfrac{\pi m}{Bq}$. La operación eficiente del ciclotrón depende del hecho de que T (depende/es independiente) del radio de la trayectoria de un ion acelerándose en él.

* * * * *

es independiente

33. $T = \dfrac{\pi m}{Bq}$. El oscilador de alta frecuencia debe ajustarse de acuerdo con la carga del ion y el campo magnético del dispositivo. No es probable que q cambie y B está construido dentro de la estructura del

dispositivo y puede regularse con mucha precisión; parece entonces que nuestro oscilador será inefectivo, sólo si hubiera un cambio en la ..... de un ion (examine la ecuación).

* * * * *

masa

34. La teoría especial de la relatividad nos dice que la masa de los objetos aumenta notablemente cuando se mueven con una rapidez de 90 a 99+ % de la velocidad de la luz. A tal rapidez, T (aumenta/disminuye/permanece constante), y un oscilador que alterne cargas en las Des con una frecuencia constante (seguirá siendo eficiente/se volverá menos efectivo).

* * * * *

aumenta; se volverá menos efectivo

35. El ciclotrón descrito en el Panel 38 (es/no es) un acelerador efectivo de partículas cargadas, con una rapidez muy cercana a la velocidad de la luz ($\sim 3 \times 10^8$ m/seg).

* * * * *

no es

36. Se han desarrollado, y se siguen desarrollando, otros dispositivos similares en algunos respectos al ciclotrón del Panel 38, para acelerar iones a velocidades cercanas a la de la luz; ejemplos de ellos son el sincrociclotrón, el sincrotrón, el cosmotrón, etc., todos ellos similares al ciclotrón, en cuanto a que emplean campos ..... para aumentar la ..... de partículas *cargadas,* y campos ..... para controlar sus trayectorias.

* * * * *

eléctricos; energía cinética; magnéticos

37. Los dispositivos como el ciclotrón, que utilizan campos eléctricos y magnéticos para aumentar la energía cinética y la ..... de partículas, son efectivos (únicamente en partículas cargadas/únicamente en partículas sin carga/en partículas cargadas y sin carga).

* * * * *

rapidez; únicamente en partículas cargadas

38. El ciclotrón es un acelerador efectivo sólo para las siguientes partículas:

(a) un átomo de hidrógeno
(b) un neutrón
(c) un ion de hidrógeno
(d) una partícula alfa
(e) un electrón
(f) un átomo de cloro.

* * * * *

(c), (d), (e) (éstas son las únicas partículas cargadas del grupo dado).

39. Panel 38. La energía cinética aumentada del ion que ha recorrido su trayectoria en espiral dentro del ciclotrón se usa para suministrar energía en interacciones de iones con blancos escogidos, como por ejemplo, láminas delgadas de metal, emulsiones fotográficas, etc. Esto significa que tenemos que sacar iones de la De cuando se aproximan a la pared de ésta; esto se logra mediante una placa deflectora que se puede cargar en el momento debido para alterar la trayectoria del ion y dirigirlo hacia un blanco. En la Fig. 3, la placa deflectora requiere una carga [(+)/(−)] para dirigir el haz de iones al blanco.

* * * * *

(−) (el ion es positivo)

40. Frecuentemente se le llama *acelerador de partículas* a un dispositivo semejante al ciclotrón; las partículas a que se hace referencia son iones o electrones, es decir, pequeñas partículas .....; el término "acelerador" se refiere al hecho de que tales dispositivos aumentan la ..... de estas partículas, aumentando, por lo tanto, su energía .....

* * * * *

cargadas; rapidez; cinética

41. Cualquier dispositivo que aumente la energía cinética de partículas cargadas se llama ..... de partículas.

* * * * *

acelerador

42. El espectrógrafo de masa descrito en la sección 7 de este capítulo (es/no es) un acelerador de partículas, en este sentido en particular.

* * * * *

no es (de hecho, acelera iones, puesto que cambia su dirección, pero *no aumenta* su rapidez ni su energía cinética).

Sección 9. El efecto Hall

1. Vea el Panel 39. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

A

2. Panel 39. Examine las figuras 1 y 2. Las flechas que representan la corriente indican la dirección en que se moverían los portadores de carga si fueran (positivos/negativos). Un portador de carga positiva se movería en (la misma dirección de i/dirección opuesta a la de i); un portador de carga negativa se movería en (la misma dirección de i/dirección opuesta a la de i).

* * * * *

positivos; la misma dirección de i; dirección opuesta a la de i

3. Panel 39. Aplique la regla de la mano derecha para determinar el efecto del campo magnético sobre el portador de carga positiva de la Fig. 1; la dirección del campo es hacia (adentro/afuera) de la página; la carga positiva se mueve hacia (arriba/abajo); la fuerza magnética sobre la carga positiva, tiende a moverla hacia la (derecha/izquierda).

* * * * *

adentro; abajo (los dedos hacia adentro de la página, el pulgar hacia abajo y la palma de la mano derecha mirando hacia **la derecha**).

4. Panel 39, Fig. 1. El efecto del campo magnético en la Fig. 1 es acumular carga (positiva/negativa) en el lado (derecho/izquierdo) de la lámina

* * * * *

positiva; derecho

5. Panel 39. Si la Fig. 1 es una ilustración veraz de lo que constituye una corriente eléctrica en un conductor metálico como el cobre, entonces los portadores de cargas (positivas/negativas) son los que se mueven en un conductor. Esto significa que, en este experimento, el punto *a* tendrá un potencial eléctrico (más alto/más bajo) que el punto *b*.

* * * * *

positivas; más bajo

6. Panel 39. Suponga que la Fig. 2 representa lo que sucede realmente cuando fluye una corriente en un conductor metálico. Aplique la regla

de la mano derecha para determinar el efecto de este campo magnético sobre un portador de carga *negativa.* La fuerza magnética tiende a empujar a este portador de carga a la (derecha/izquierda).

* * * * *

derecha (los dedos hacia adentro de la página y el pulgar hacia *abajo,* es decir, en dirección opuesta al movimiento de la carga negativa; la palma de la mano queda hacia la derecha).

7. Panel 39. Si los portadores de cargas negativas explican la presencia de corrientes eléctricas en conductores metálicos, entonces las cargas (positivas/negativas) tienden a acumularse en el lado derecho de esta lámina; por lo tanto, el punto *a* debe tener un potencial eléctrico más (alto/bajo) que el punto *b.*

* * * * *

negativas; alto

8. El experimento descrito en el Panel 39 fue ideado por E. H. Hall en 1879, para determinar el signo de los portadores de cargas en un conductor metálico. Si los portadores de cargas son positivos, debemos esperar que el potencial eléctrico de *b* a *a* sea (positivo/negativo); si los portadores de cargas son negativos, debemos esperar que el potencial eléctrico de *b* a *a* sea (positivo/negativo).

* * * * *

positivo; negativo

9. Panel 39. La medida indica que *b* tiene un potencial eléctrico más bajo que *a,* es decir, que el potencial eléctrico de *b* a *a* es negativo,; esto se conoce con el nombre de *efecto Hall,* e indica, de hecho, que en los metales, los portadores de la carga son (positivos/negativos).

* * * * *

negativos

10. Panel 39. El resultado de este experimento es que la carga (positiva/negativa) tiende a acumularse en el lado derecho de la lámina, lo que motiva que el ..... eléctrico en *b* sea más bajo que en *a.* A este resultado se le llama efecto ....., e indica que los portadores en un ..... son, de hecho, negativos.

* * * * *

negativa; potencial; Hall; conductor metálico, *o* metal

11. La convención de que la corriente eléctrica se mueve de [(+)/(−)] a [(+)/(−)], es decir, en la dirección en que se movería una carga

[(+)/(−)] en un campo eléctrico, fue establecida muchos años antes del experimento de Hall. Él demostró que en las sustancias metálicas, las cargas que realmente se movían eran aquellas que lo hacían (en la misma dirección del campo eléctrico/ en dirección opuesta a la del campo eléctrico).

* * * * *

(+); (−); (+); en dirección opuesta a la del campo eléctrico

12. Una carga positiva que se mueva en una dirección, equivale *en casi todos sus efectos externos* a una carga negativa moviéndose en dirección opuesta. El efecto Hall (es/no es) de aquellos cuyos efectos externos son iguales, ya sea que los portadores de la carga sean positivos o negativos.

* * * * *

no es

13. Nuestra explicación del efecto Hall implica que consideremos (únicamente la dirección de la corriente eléctrica/el movimiento real de los portadores de cargas).

* * * * *

el movimiento real de los portadores de cargas

14. El efecto externo de las cargas en movimiento a través de una resistencia es un aumento en la temperatura de ésta; este efecto depende únicamente del hecho de que las cargas están en movimiento, y es (el mismo/diferente) si lo consideramos como el producto de portadores de cargas positivas moviéndose en una dirección, o de electrones moviéndose en la otra. Nuestra explicación del efecto térmico de una corriente eléctrica en una resistencia requiere que consideremos *((a)* únicamente la existencia de una corriente/*(b)* la dirección en que se mueven realmente los portadores de cargas) en la resistencia.

* * * * *

el mismo; *(a)*

15. Basándonos en experimentos como el ....., sabemos que los portadores de cargas en los metales son partículas negativas llamadas .....

* * * * *

efecto Hall; electrones

Sección 10. El amperímetro de bobina móvil El motor eléctrico

1. Veamos el Panel 40. La letra en la esquina superior derecha es una ....
* * * * *

T

2. Panel 40. Vea la Fig. 1. Entre los polos de un imán hay una espira rectangular de alambre, en libertad de moverse alrededor del eje *RW*. Cuando fluye una corriente a través de la espira, en la dirección indicada, la sección *KP* se mueve (hacia adentro/hacia afuera) de la página, y *TM* se mueve (hacia adentro/hacia afuera) de la página (use la regla de la mano derecha).
* * * * *

hacia adentro (con los dedos apuntando a la derecha y el pulgar hacia abajo, la palma de la mano indica hacia adentro de la página); hacia afuera (con los dedos apuntando a la derecha y el pulgar hacia arriba, la palma de la mano indica hacia afuera de la página).

3. Panel 40, Fig. 1. Mirando la espira desde arriba, o sea desde *R*, cuando fluye una corriente a través de la bobina en la dirección indicada, la espira gira en dirección (de las manecillas del reloj/contraria a las manecillas del reloj).
* * * * *

de las manecillas del reloj

4. Panel 40. Examine las figuras 2 y 3. Cuando se invierte la corriente en la espira, desde *R* vemos que ésta gira en dirección (de las manecillas del reloj/contraria a las manecillas del reloj).
* * * * *

contraria a las manecillas del reloj

5. Panel 40. Cuando no hay corriente en la espira (hay una/no hay) fuerza magnética que tiende a hacerla ..... sobre el eje *RW*.
* * * * *

no hay; girar, dar vueltas

6. Panel 40. Entonces, en principio, el efecto del campo magnético sobre esta espira de alambre (se/no se) puede usar para descubrir la existencia de una corriente en la espira.
* * * * *

se

7. Panel 40. La dirección en que gire la espira en el eje *RW* indica la ..... de la corriente en ella.

* * * * *

dirección

8. Panel 40. La fuerza que tiende a hacer girar esta espira en el eje *RW*, es una fuerza ..... Si la longitud de *KP* es *l*, la fuerza *F* que tiende a hacer girar a *K* hacia adentro de la página está dada por la ecuación: $F =$ ....., en función de *l*, *i* y *B*.

* * * * *

magnética; *Bil*

9. Panel 40. La fuerza que tiende a hacer girar a la espira es (directamente proporcional a/inversamente proporcional a/independiente de) la corriente.

* * * * *

directamente proporcional a

10. Panel 40. Si a la espira unimos un resorte en espiral (vea la Fig. 4) en tal forma que ejerza una fuerza restauradora sobre la espira, ésta girará hasta que la fuerza restauradora del resorte iguale a la fuerza ..... que hace que la espira gire en el campo magnético.

* * * * *

magnética

11. Panel 40. En la Fig. 4 vemos que se ha agregado una aguja a la espira, en tal forma, que la punta de la aguja se mueve a lo largo de una escala calibrada cuando la espira gira en el campo magnético. Cuando no hay corriente en la espira, ésta mantiene a la aguja en el centro de la escala por medio del ..... en ..... unido a la espira.

* * * * *

resorte (en) espiral

12. Panel 40, Fig. 4. Cuando fluye una corriente en la espira, la aguja se mueve a la derecha, o a la izquierda, hasta que la fuerza ..... en la espira sea igualada por la fuerza ..... del resorte en espiral. Al (aumentar/disminuir) la corriente, la aguja se aleja del centro de la escala, ya sea a la derecha o a la izquierda.

* * * * *

magnética; restauradora; aumentar

13. Panel 40, Fig. 4. El que la aguja gire a la derecha, o a la izquierda, depende de la (magnitud/dirección) de la corriente en la espira; qué tanto gire la aguja en una u otra dirección, depende de la (magnitud/dirección) de la corriente en la espira.

* * * * *

dirección; magnitud

14. Panel 40. Una cuidadosa selección del resorte a usar, y la calibración de la escala en *amperios* nos permite usar este dispositivo para detectar y medir ..... eléctricas.

* * * * *

corrientes

15. Panel 40. El dispositivo descrito aquí se llama *amperímetro de bobina móvil.* El término "bobina" se refiere al hecho de que en la práctica, estos dispositivos requieren *muchas* espiras de alambre en vez de una sola; estas espiras son enrolladas en forma muy compacta en una sola bobina de alambre, que es la que ..... cuando fluye una corriente a través de ella. Por otra parte, el resorte en espiral actúa para ..... la bobina de espiras de alambre a su posición original.

* * * * *

gira o se mueve; restaurar, regresar, devolver

16. Panel 40. El ..... de ..... móvil es un dispositivo que se usa para detectar y medir corrientes eléctricas. Su operación depende del hecho de que un conductor por el que fluye una corriente, sufre una ..... cuando está dentro de un campo .....

* * * * *

amperímetro (de) bobina; fuerza; magnético

17. Panel 40. La dirección en que gira la aguja de un amperímetro de bobina móvil (depende/no depende) de la dirección en que fluya la corriente en su bobina; la cantidad de giro o desviación de la aguja, es (directamente/inversamente) proporcional a la corriente.

* * * * *

depende; directamente

18. Veamos el Panel 41. En la esquina superior derecha está la letra ....

* * * * *

K

19. Panel 41. Examine la Fig. 1 y lea el párrafo descriptivo. Cuando la corriente de la batería entra a la espira a través del conmutador de anillo seccionado, la interacción entre la corriente y el campo .... hace que la espira .....

* * * * *

magnético; gire, dé vueltas, se mueva

20. Panel 41. Cuando la espira y el conmutador de anillo seccionado dan media vuelta, el medio anillo que suministra corriente a la sección *a* de la espira está en contacto con el borne [(+)/(−)] de la batería.

* * * * *

(+)

21. Panel 41. Cuando las secciones *a* y *b* han intercambiado posiciones al dar media vuelta la espira, la corriente fluye en ésta en tal forma, que (invierte su sentido de giro/continúa girando en el mismo sentido).

* * * * *

continúa girando en el mismo sentido

22. Panel 41. El objeto del conmutador de anillo seccionado en un motor eléctrico es el de suministrar ..... a la espira en tal forma, que mantenga su rotación en la misma dirección.

* * * * *

corriente

23. Panel 41. Una flecha unida a la espira transmite la energía del movimiento giratorio de la espira a la maquinaria externa que se desee operar. El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía ..... en energía mecánica.

* * * * *

eléctrica

24. La resistencia es un dispositivo que transforma la energía potencial eléctrica de una fuente de fem, en energía ..... El motor eléctrico cambia la energía potencial eléctrica, en energía .....

* * * * *

calorífica; mecánica

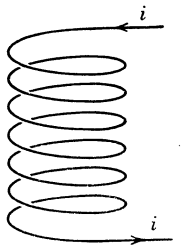
25. Tanto el amperímetro de bobina móvil como el motor eléctrico, dependen del hecho de que un campo (magnético/eléctrico) ejerce una fuerza sobre las cargas (estacionarias/en movimiento).

* * * * *

magnético; en movimiento

Sección 11. Una teoría del magnetismo

1. Un solenoide es un alambre conductor arrollado en forma de bobina. Un solenoide como el de la figura consiste de muchas espiras. Cuando fluye una corriente por el solenoide, en el espacio interior y en el exterior de cada espira hay un campo .....



* * * * *

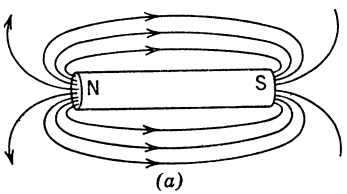
magnético

2. Cuando fluye una corriente eléctrica en un solenoide, se suman los campos magnéticos de cada espira. Si en todas las espiras fluye la corriente eléctrica en la misma dirección, al fluir ésta en el solenoide, alrededor de él (hay/no hay) campo magnético.

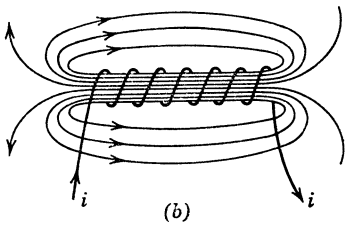
* * * * *

hay

3. La figura *(a)* es un bosquejo de las líneas de campo magnético que hay alrededor de una barra imantada. La figura *(b)* es un bosquejo de las líneas de campo magnético que hay alrededor de un .....



(a)



(b)

* * * * *

solenoide

4. Vea la figura de cuadro anterior. El campo magnético *externo* de una barra imantada y el de un solenoide por el que fluye una corriente eléctrica (son/no son) similares.

* * * * *

son

5. El solenoide tiene un campo magnético similar al de una barra imantada, sólo cuando ..... *(complete)*.

* * * * *

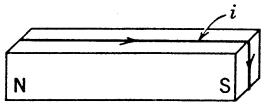
tiene corriente eléctrica en sus espiras

6. A principios del siglo XIX el físico francés Ampère sugirió que el campo magnético alrededor de una barra imantada se debía a las mismas causas generales que el campo alrededor de un solenoide. Ampère dio a entender que los efectos magnéticos externos de una barra imantada eran resultado de la existencia de una ..... en alguna parte, adentro o en la superficie del imán.

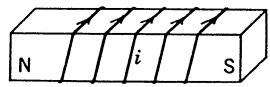
* * * * *

corriente

7. Para lograr el campo observado, que es similar al que hay alrededor de un solenoide, esta corriente *amperiana* tendría que fluir como se indica en la Fig. [*(a)*/*(b)*].



(a)



(b)

* * * * *

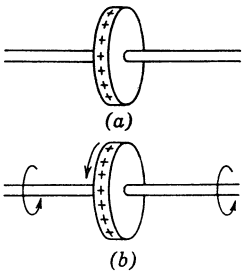
(b)

8. Podemos explicarnos la existencia de corrientes en los imanes, si recordamos que la corriente la constituye un movimiento de .....

* * * * *

cargas, o partículas cargadas

9. Suponga que se colocan cargas en el borde de un disco; en *(a)* el disco está en reposo y en *(b)* está girando en la dirección indicada. En *(a)* (hay un/no hay) campo magnético debido a las cargas, porque (están/no están) en movimiento.



* * * * *

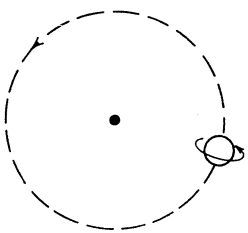
no hay; no están

10. Vea las figuras del cuadro anterior. En *(b)*, la rotación de las cargas constituye una ..... eléctrica, y (hay un/no hay) campo magnético debido a las cargas en el disco.

* * * * *

corriente; hay un

11. Ahora sabemos que podemos considerar a los electrones de los átomos girando en órbitas alrededor del núcleo del átomo, en forma muy semejante al movimiento de la Tierra alrededor del Sol; además, un



electrón gira en su propio eje, tal como la Tierra gira en el suyo. Un electrón en un átomo (tiene un/no tiene) campo magnético alrededor de él.

* * * * *

tiene un

12. Nos explicamos la corriente amperiana que da origen al campo magnético alrededor de una barra imantada, refiriéndonos al movimiento de los ..... en los átomos.

* * * * *

electrones

13. Vea el Panel 42. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

G

14. Panel 42. Vea la Fig. 1. Cada espira cuadrada representa la corriente que produce el movimiento de los electrones de un solo átomo del material de una barra imantada. Esta espira de corriente produce un .... que apunta hacia (afuera/adentro) de la página.

* * * * *

campo magnético; afuera

15. Panel 42, Fig. 1. La cara (es decir, la superficie encerrada en el cuadro y viendo hacia afuera de la página) de cada una de estas espiras cuadradas de la figura, actúa como polo (N/S).

* * * * *

N

16. Panel 42, Fig. 1. Observe que en las secciones *a* y *b* de estas espiras de corriente colocadas muy cerca la una de la otra, la corriente se mueve en (la misma dirección/direcciones opuestas). Esto significa que los efectos magnéticos de *a* y *b* tienden a (anularse/reforzarse).

* * * * *

direcciones opuestas; anularse

17. Panel 42, Fig. 1. En un sólido, los átomos forman una masa compacta. Si las espiras cuadradas de la Fig 1 representan tal agrupación de átomos, los efectos magnéticos de las secciones *a* y *b* se anulan, y el efecto magnético total de estas dos espiras cuadradas es el representado por la espira .....

* * * * *

rectangular

18. Panel 42, Fig. 2. En las dos espiras atómicas representadas por los cuadros, los efectos magnéticos de las secciones *b* y *c* se (anulan/refuerzan) entre sí y el efecto magnético externo (es/no es) el de una sola espira de corriente.

* * * * *

anulan; es

19. Panel 42. La Fig. 3 representa todas las espiras de corriente atómica en el extremo del polo N de una barra imantada. Note que los efectos magnéticos de todas las secciones de corriente internas (no se anulan/se anulan entre sí), y las secciones de corriente exteriores (permanecen sin anularse/se anulan entre sí).

* * * * *

se anulan entre sí; permanecen sin anularse

20. Panel 42. Los efectos magnéticos externos totales de todas las espiras de corriente *atómica* del lado izquierdo de la Fig. 3, están representados a la derecha por una espira de corriente *amperiana*. Las espiras de corriente amperiana (explican/no explican) el campo magnético alrededor de una barra imantada.

* * * * *

explican

21. Panel 42. La espira rectangular a la derecha de la Fig. 3 es una espira de corriente .....; es el efecto total de todas las espiras de corriente ..... de la izquierda, y explica el .... que advertimos en el espacio que rodea a una barra imantada.

* * * * *

amperiana; atómica; campo magnético

22. La mayoría de los átomos, especialmente los de las substancias sólidas, contienen muchos electrones que se mueven en distintas direcciones; así pues, en general, debemos esperar que los efectos magnéticos de las órbitas electrónicas tiendan a (anularse/reforzarse) entre sí.

* * * * *

anularse

23. Entonces, vemos que hay (muchas/muy pocas) substancias de carácter fuertemente magnético.

* * * * *

muy pocas

24. Las substancias paramagnéticas y las diamagnéticas son aquellas que reaccionan muy débilmente a campos magnéticos externos; no se les considera magnéticas en nuestras experiencias diarias, porque sus reacciones a los campos no son fácilmente observables. El hierro (es/no es) una substancia paramagnética o diamagnética.

* * * * *

no es

25. Las substancias cuyas reacciones a los campos magnéticos son lo suficientemente fuertes para ser observadas en nuestras experiencias diarias, se llaman *ferromagnéticas*. Las substancias tales como hierro, cobalto, níquel y una gran variedad de aleaciones de éstos y otros metales, son fácilmente observables como magnéticas en nuestras diarias experiencias; estas substancias (son/no son) ferromagnéticas.

* * * * *

son

26. Siempre que en este curso hablemos de substancias magnéticas, se entiende que nos referiremos a las que exhiben una fuerte tendencia a alinearse por sí mismas a un campo magnético externo. Técnicamente, a estas substancias se les llama .....

* * * * *

ferromagnéticas

27. Recientemente se ha demostrado que algunas substancias como el hierro, el cobalto y el níquel contienen átomos cuyas órbitas y espines están orientados en tal forma que sus campos magnéticos no se anulan. Los átomos de las substancias ferromagnéticas tienen corrientes atómicas totales (mayores que/iguales) a cero.

* * * * *

mayores que

28. El hierro es una substancia ..... Un átomo de hierro (tiene/no tiene) un campo magnético total originado por los movimientos orbitales y los espines de sus propios electrones.

* * * * *

ferromagnética; tiene

29. Un clavo de hierro no necesariamente atrae a otro clavo de hierro, a pesar de que ambos sean atraídos por un imán. Los átomos individuales de una muestra de substancia ferromagnética (son/no son) imanes; la muestra en sí (es/no es) necesariamente un imán.

* * * * *

son; no es

30. Puesto que los átomos de un material ferromagnético son imanes, responden a un campo magnético externo, y una muestra de material ferromagnético (se puede/no se puede) imantar.

* * * * *

se puede

31. Un material ferromagnético está imantado (es decir, actúa como un imán) cuando los campos magnéticos de sus átomos están (alineados en la misma dirección/en diferentes direcciones).

* * * * *

alineados en la misma dirección

32. El experimento indica que cualquier muestra de material ferromagnético consiste de *grandes grupos de átomos* llamados *dominios,* en donde los campos magnéticos de los átomos están rígidamente alineados en la misma dirección. Cada dominio (tiene/no tiene) su propio campo magnético, puesto que los campos magnéticos de los átomos de un dominio se (anulan/refuerzan) entre sí.

* * * * *

tiene; refuerzan

33. Panel 42. Vea la Fig. 4 y lea el párrafo descriptivo. Las flechas representan los campos magnéticos de cada uno de los dominios de la muestra. Las dimensiones de un átomo son aproximadamente 10^{-10} m; las de un dominio de esta muestra son aproximadamente ..... m. Por lo tanto, cada dominio consiste de (algunos/muchos) átomos cuyos campos magnéticos están alineados en la misma dirección. En esta muestra, los dominios (están/no están) alineados por sí mismos en la misma dirección.

* * * * *

10^{-5}; muchos $\left(\frac{10^{-5}}{10^{-10}} \approx 10^{5} \text{ átomos} \right)$; no están

34. Panel 42, Fig. 4. En la muestra, cada dominio está orientado en tal forma que produce un campo magnético (fuerte/despreciable) en el espacio alrededor de la muestra. Cada dominio consiste de ..... cuyos ..... están alineados en la misma dirección.

* * * * *

despreciable; átomos; campos magnéticos

35. Por lo tanto, una substancia ferromagnética consiste de regiones llamadas ....., que son grupos de átomos alineados para producir un campo magnético acumulativo en esa región. Cuando estas regiones están orientadas al azar unas respecto de otras, su efecto magnético acumulativo (es/no es) despreciable.

* * * * *

dominios; es

36. Panel 42. Vea la Fig. 5. Las flechas representan los campos magnéticos de cada dominio (designados por letras) de esta muestra ferromagnética; cuando se introduce la muestra en un campo magnético $\vec{B}$ externo, vemos que aquellos dominios cuyos campos están orientados aproximadamente en la dirección de $\vec{B}$, crecerán a expensas de aquellos otros cuyos campos estén orientados aproximadamente en dirección opuesta a $\vec{B}$; por lo tanto, debemos esperar que, con el tiempo, el tamaño de los dominios *(f)*, *(c)* y *(a)* (crezca/disminuya), y el de los *(b)*, *(d)* y *(e)* (crezca/disminuya).

* * * * *

disminuya; crezca

37. Panel 42. La Fig. 6 muestra lo que sucede al espécimen de la Fig. 5 al aplicarle el campo externo $\vec{B}$; los límites de cada dominio (han cambiado/permanecen fijos).

* * * * *

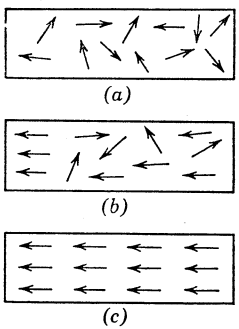
han cambiado

38. Panel 42, Figs. 5 y 6. Al aplicarles $\vec{B}$ durante un largo período de tiempo, los dominios que están orientados favorablemente respecto a él, (crecen/disminuyen), y los que no lo están (crecen/disminuyen).

* * * * *

crecen; disminuyen

39. Las flechas en estas figuras representan dominios en una muestra de material ferromagnético; cada dominio representa un grupo de .... cuyos campos magnéticos están orientados (al azar/en la misma dirección).



* * * * *

átomos; en la misma dirección

40. Veamos la figura del cuadro anterior. ¿Qué muestra *(a/b/c)* manifiesta efectos magnéticos externos más intensos? ¿Qué muestra *(a/b/c)* exhibe efectos magnéticos externos despreciables?

* * * * *

(c); (a)

41. Se dice que una substancia que contiene dominios magnéticos, es ..... (o, en nuestras diarias experiencias, *magnética).* Se dice que una substancia está *imantada,* cuando sus dominios magnéticos han sido alineados en la misma dirección mediante un campo magnético externo. La muestra ilustrada en la Fig. 4 del Panel 42 (es/no es) magnética, y (está/no está) imantada.

* * * * *

ferromagnética; es; no está

42. Un clavo de hierro (es/no es) magnético, y está imantado sólo si sus ..... están alineados en la misma dirección.

* * * * *

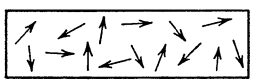
es; dominios *o* dominios magnéticos

43. Panel 42. Los dominios representados en la Fig. 4 (son/no son) afectables por campos magnéticos externos; esto significa que (se pueden/no se pueden) alinear en la misma dirección mediante la aplicación de un campo magnético externo.

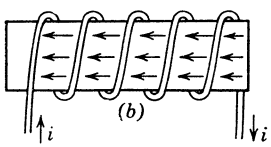
* * * * *

son; se pueden

44. En *(a),* las flechas representan dominios magnéticos en una barra de hierro que (está imantada/es magnética), pero (no está imantada/no es magnética). En *(b),* la misma barra de hierro está colocada dentro



(a)



de un solenoide por el que fluye una corriente *i.* El ..... mag-

nético del solenoide alinea los ..... de la barra en tal forma que ésta (se vuelve magnética/se imanta).

* * * * *

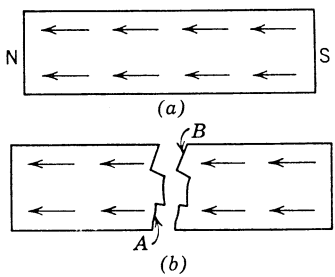
es magnética; no está imantada; campo; dominios; se imanta (porque ya es magnética por naturaleza, por el hecho de contener dominios).

45. Se pueden imantar muestras de materiales magnéticos mediante la aplicación de un ..... externo que tienda a alinear a sus dominios ..... *(¿Cómo?)*

* * * * *

campo magnético; en la misma dirección

46. La teoría de Ampère y la teoría de los dominios explican nuestras observaciones y experimentos con imanes. Por ejemplo, si la barra iman-

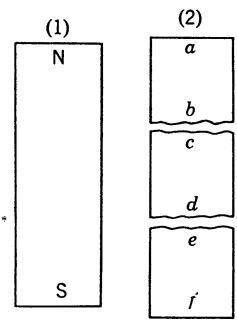


tada *(a)* se rompe en dos partes y se tiene cuidado de no alterar la orientación de los dominios magnéticos, debemos esperar que el extremo *A* sea un polo (N/S) y el extremo *B* un polo (N/S).

* * * * *

S; N (puesto que los dominios magnéticos quedan alineados, ahora tenemos dos imanes con su par de polos cada uno).

47. El experimento confirma la teoría sobre este punto. La barra imantada ilustrada en (1) se rompe en las tres secciones mostradas en (2).

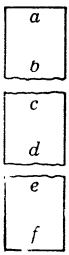


Cuando el extremo *(b)* se acerca al polo S de la aguja de una brújula, la (atrae/repele); cuando se acerca el extremo *e* al polo S de la aguja de una brújula, la (repele/atrae).

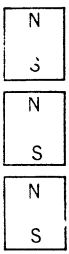
* * * * *

repele (polos iguales se repelen); atrae (polos opuestos se atraen)

48. Aquí repetimos la parte (2) de la figura del cuadro anterior. Marque con una N, o con una S, los puntos *a, b, c, d, e* y *f,* para indicar su polaridad.



* * * * *



49. Nuestra teoría de las substancias magnéticas también predice que para cada substancia ferromagnética que esté por encima de una temperatura especificada, llamada temperatura Curie, la vibración de los átomos de la red de los cristales de la substancia es tan grande que la orientación del campo magnético de un átomo, respecto a otro, se vuelve al azar. La temperatura Curie para el hierro es aproximadamente 770° C. Por encima de esta temperatura, los dominios magnéticos en el hierro (dejan de existir/continúan existiendo); por abajo de esta temperatura, los dominios magnéticos en el hierro (dejan de existir/continúan existiendo).

* * * * *

dejan de existir; continúan existiendo

Sección 12. Repaso y problemas

1. Conforme a la teoría de Ampère, los campos magnéticos en el espacio alrededor de barras imantadas se deben a la presencia de .... eléctricas dentro de los imanes, las que hoy asociamos con el movimiento y el espín de los ..... en sus .....

* * * * *

corrientes; electrones; átomos

2. Una barra imantada consiste de muchas corrientes atómicas pequeñas con sus campos magnéticos orientados (al azar/en direcciones paralelas y opuestas/en la misma dirección). Dentro del imán, las secciones adyacentes de corriente (Vea las figuras 1 a 3 del Panel 42) se (refuerzan/anulan) entre sí. El efecto externo es el mismo que debemos esperar cuando fluye una corriente (dentro/en la superficie) del imán. Esta teoría es sugerida por los campos magnéticos similares de una barra imantada y un .....

* * * * *

en la misma dirección; anulan; en la superficie; solenoide

3. El cobalto es un material ferromagnético; esto quiere decir que una muestra de cobalto a temperaturas ordinarias contiene grupos de .... cuyos .... están alineados en la misma dirección. Estos grupos se llaman .....

* * * * *

átomos; campos magnéticos; dominios

4. Los dominios de una muestra de substancia ferromagnética se pueden alinear; cuando ocurre tal alineación, decimos que la muestra está .....

* * * * *

imantada

5. Un extremo de una barra metálica repele al polo N de la aguja de una brújula; esto es prueba de que tal extremo de la barra es un polo (N/S).

* * * * *

N

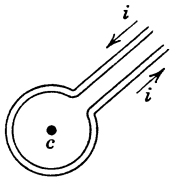
6. Las líneas de campo magnético en el espacio alrededor de un imán, comienzan en el polo (N/S) y terminan en el polo (N/S) del imán. La

dirección del campo magnético en un punto del espacio que rodea a un imán es la dirección que toma el polo (N/S) de una ..... de ..... al colocarla en ese punto.

* * * * *

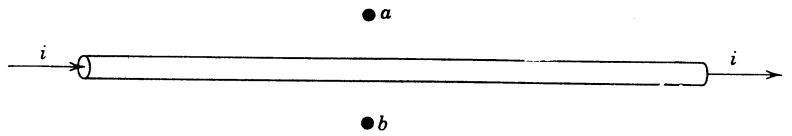
N; S; N; aguja (de) brújula

7. Aplique la regla de la mano derecha adecuada para determinar la dirección del campo magnético en *c*. La dirección del campo es hacia (arriba/abajo/la izquierda/la derecha/adentro de la página/afuera de la página).



* * * * *

afuera de la página



8.
El campo magnético que origina la corriente que fluye en este alambre recto y largo gira en tal forma que, en *a*, apunta hacia (afuera/adentro) de la página, y en *b*, hacia (afuera/adentro) de la página.

* * * * *

afuera; adentro

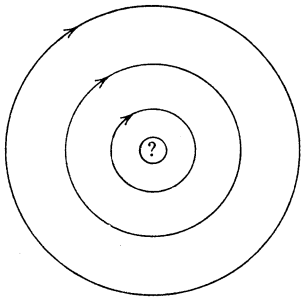
9. En esta figura, el símbolo ⊙ representa una corriente eléctrica que fluye en un alambre recto y largo, emergiendo del plano de la página.

Alrededor del alambre gira un campo magnético en la dirección (de las manecillas del reloj/contraria a las manecillas del reloj).

* * * * *

contraria a las manecillas del reloj

10. Estos círculos concéntricos representan el campo magnético alrededor de un alambre recto y largo por el que fluye una corriente. Usando la regla de la mano derecha vemos que la corriente se mueve hacia (adentro/afuera) de la página.



* * * * *

adentro

11. Para que se ejerza una fuerza magnética sobre un conductor, éste [*(a)* sólo necesita tener corriente/*(b)* sólo necesita estar dentro de un campo magnético/*(c)* debe tener corriente y estar dentro de un campo magnético].

* * * * *

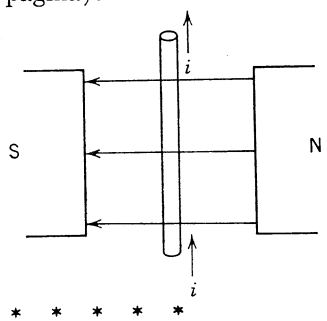
(c)

12. La dirección de la fuerza magnética sobre una corriente i en un campo magnético $\vec{B}$, depende (sólo de i/sólo de $\vec{B}$/de i y de $\vec{B}$).

* * * * *

de i y de $\vec{B}$

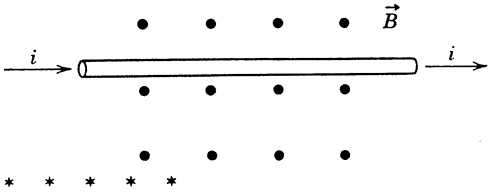
13. La fuerza magnética sobre este conductor está dirigida hacia (arriba/abajo/la izquierda/la derecha/adentro de la página/afuera de la página).



* * * * *

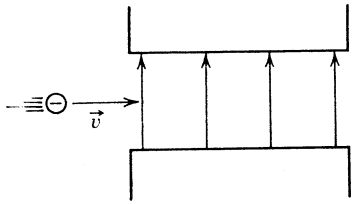
afuera de la página

14. En este conductor, la dirección de $\vec{F}_B$ es hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página/la izquierda/la derecha).



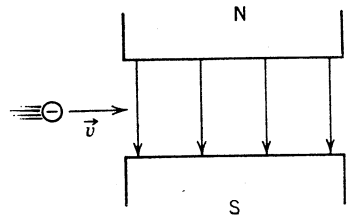
abajo

15. Este campo magnético desviará a la partícula hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).



adentro de la página

16. Este campo magnético desviará a la partícula hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página).



afuera de la página

17. Para los problemas que siguen, puede usted repasar la sección 4 de este capítulo, para las ecuaciones requeridas. Calcule la magnitud del campo magnético en el centro de una espira de alambre con un radio de 0.08 m y una corriente de 12 amp.

* * * * *

$$B = k_l \frac{i}{r} = (2\pi \times 10^{-7})\,(12/0.08)$$

$= 3\pi \times 10^{-5}$ newton/amp-m, o bien 9.42×10^{-5} newton/amp-m

18. Se colocan dos alambres rectos largos y paralelos a 2 m de distancia uno del otro y con corrientes de 5 amp en direcciones *opuestas*. Calcule la fuerza magnética que ejerce el campo magnético de uno de los alambres sobre un tramo de 25 m del otro. Indique si la fuerza es de atracción o de repulsión.

* * * * *

$F_B = k\dfrac{i_1 i_2 l}{d} = \dfrac{(2 \times 10^{-7})\,(5)\,(5)\,(25)}{2} = 6.25 \times 10^{-5}$ newton, de repulsión.

19. Calcule el campo magnético en un punto que está a 2 m de distancia de un alambre recto largo por el que fluye una corriente de 3 amp.

* * * * *

$B = k\dfrac{i}{d} = \dfrac{(2 \times 10^{-7})\,(3 \text{ amp})}{2\text{m}} = 3 \times 10^{-7}$ newton/amp-m

20. Un alambre de 10 m de largo transporta una corriente de 3 amp y se introduce normalmente en un campo magnético de 5×10^{-2} newton/amp-m. Calcule la fuerza magnética sobre este tramo de alambre.

* * * * *

$F_B = Bil = (5 \times 10^{-2}$ newton/amp-m$)\,(3$ amp$)\,(10$ m$) = 1.5$ newtons

21. Si un tramo de alambre de 10 m por el que fluye una corriente de 7 amp se coloca *paralelo* a un campo magnético $B = 3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m, la fuerza magnética sobre el alambre es de .... newton.

* * * * *

cero, 0

22. Una partícula alfa con una carga de +2 cargas elementales entra normalmente a un campo magnético de 3×10^{-2} newton/amp-m, la rapidez de ésta es de 4×10^4 m/seg. Calcule la fuerza magnética sobre ella.

* * * * *

2 cargas elementales $= 2 \times (1.6 \times 10^{-19}$ culombio$) = 3.2 \times 10^{-19}$ culombio

$F_B = BvQ = (3 \times 10^{-2})\,(4 \times 10^4)\,(3.2 \times 10^{-19}) = 3.84 \times 10^{-16}$ newton

28. Veamos el problema del cuadro anterior. Si se da una masa para la partícula alfa de 6.8×10^{-27} kg, calcule el radio de su trayectoria cuando está dentro del campo magnético.

* * * * *

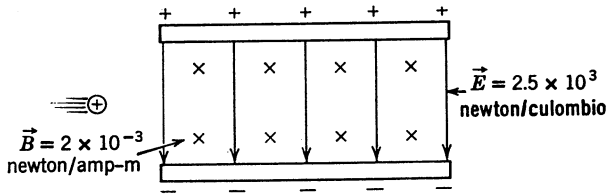
$$F_B = BvQ \text{ y } F_B = \frac{mv^2}{R}$$

$$BvQ = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{BQ} = \frac{(6.8 \times 10^{-27})(4 \times 10^4)}{(3 \times 10^{-2})(3.2 \times 10^{-19})} = 2.8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

24. Calcule la rapidez de esta partícula que se mueve a través de esta combinación de campos, sin desviarse.

* * * * *



$$v = \frac{E}{B} = \frac{2.5 \times 10^3}{2 \times 10^{-3}} = 1.25 \times 10^6 \text{ m/seg}$$

25. En el experimento de Thomson se midió la razón de la ..... de un electrón a su .....

* * * * *

carga; masa

26. Los átomos de un mismo elemento con masas diferentes, se llaman ..... de ese elemento.

* * * * *

isótopos

27. El dispositivo que emplea campos eléctricos y magnéticos para medir masas de diferentes isótopos del mismo elemento, es el ..... de .....

* * * * *

espectrómetro (de) masa

28. El ciclotrón es un ..... de partículas que usa una combinación de campos eléctrico y magnético para aumentar la energía ..... de pequeñas partículas ....., como los iones o electrones.

* * * * *

acelerador; cinética; cargadas

29. La función del campo eléctrico en un ciclotrón es la de [*(a)* mantener al ion en movimiento en una trayectoria semicircular, cuando está dentro de una De/*(b)* suministrar la fuerza que aumenta la rapidez de un ion cuando cruza el claro entre las Des]. La función del campo magnético es la de .. *(escoja (a) o (b) de los anteriores).*

* * * * *

(b); (a)

30. El oscilador de alta frecuencia cambia periódicamente la ..... en las Des; se puede fijar para que haga estos cambios a intervalos de tiempo iguales, porque el tiempo que emplea un ion en recorrer su trayectoria semicircular a través de una De (depende/es independiente) del radio de su trayectoria.

* * * * *

carga; es independiente

31. La prueba de que los portadores de cargas de una corriente eléctrica en un metal son realmente los (positivos/negativos), la proporciona una observación experimental llamada efecto .....

negativos; Hall

32. El amperímetro de bobina móvil es un dispositivo que usa la rotación de una bobina de alambre conductor dentro de un campo ...., para detectar y medir una ..... eléctrica en el alambre.

* * * * *

magnético; corriente

33. El funcionamiento del amperímetro de bobina móvil se basa en el hecho de que la cantidad de rotación de una bobina colocada en un campo magnético, es (directamente proporcional a/inversamente proporcional a/independiente de) la corriente en la bobina.

* * * * *

directamente proporcional a

34. El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía (eléctrica/mecánica) en energía (eléctrica/mecánica).

* * * * *

eléctrica; mecánica

35. Si se parte en dos una barra imantada, queda(n): *(a)* un polo N aislado, *(b)* un polo S aislado, *(c)* dos imanes, cada uno con sus propios polos N y S.

* * * * *

(c)

36. La supuesta corriente que circula alrededor de la superficie de una barra imantada y que teóricamente explica su campo magnético permanente, se llama corriente .....

* * * * *

amperiana

37. Ciertos metales como el hierro, el cobalto y el níquel, presentan efectos magnéticos fácilmente observables en nuestras experiencias diarias; a estos metales se les llama ..... y consisten de regiones llamadas ..... en los que se alinean en una dirección los campos magnéticos de muchos .....

* * * * *

ferromagnéticos; dominios; átomos

38. Cuando los dominios de una muestra ferromagnética están orientados al azar, la muestra (está/no está) imantada.

* * * * *

no está

PROBLEMAS

1. ¿Cuál es la fuerza magnética sobre un alambre recto de 1 m de largo, si la corriente es de 5 amp y está en ángulo recto con el campo, que es de 10^{-5} newton/amp-m?

2. ¿Cuál es la fuerza entre dos alambres paralelos separados por una distancia de 0.1 m, si cada uno mide 2 m de largo y tiene una corriente de 3 amp? ¿Es la fuerza de atracción o de repulsión?

3. ¿Cuál es la magnitud del campo magnético en el centro de una espira de alambre de 0.4 cm de diámetro, con una corriente de 0.5 amp fluyendo por la espira?

4. Si en la Fig. 2 del Panel 35 el lado *BC* es de 0.5 m y se coloca un alambre recto paralelo a él, a una distancia de 0.2 m y la corriente en *BC* es de 5 amp cuando en el alambre recto es de 10 amp, ¿cuál es la fuerza magnética que ejerce la corriente en el alambre recto y largo sobre *BC*?; ¿cuál es la dirección de esta fuerza?

5. ¿Cuál es la fuerza sobre un trozo de alambre de 0.02 m de largo con una corriente de 1 amp, colocado perpendicularmente a un campo magnético B de 10^{-3} newton/amp-m?

6. Si una carga Q de 10^{-16} culombio se mueve dentro de un campo magnético B de 10^{-4} newton/amp-m con una rapidez de 10^{5} metros/seg, *(a):* ¿Cuál es la fuerza magnética sobre la carga? *(b):* ¿Cuál es la dirección de esta fuerza?; y *(c):* ¿Cuál es la forma de la trayectoria de Q?

7. ¿Cuál es el radio de la trayectoria de un electrón (cuya masa es de 9×10^{-31} kg) que se mueve a 5×10^{5} m/seg en un campo magnético de 10^{-3} newton/amp-m?

8. Con las condiciones del problema 7, ¿cuál es la rapidez del electrón para que éste no se desvíe si el campo eléctrico es de 10^{3} newton/culombio?

9. ¿Cuál es la energía cinética de un electrón que pasa a través de un orificio que tiene una diferencia de potencial de 7×10^{3} voltios respecto al cátodo que emitió al electrón?

10. ¿Cuál es la rapidez de un electrón que ha pasado por una diferencia de potencial de 4000 voltios? La masa de un electrón es aproximadamente 9×10^{-31} kg, y la carga q_e del mismo es de 1.6×10^{-19} culombio.

11. Explique cómo contribuyó Thomson a la determinación de la masa del electrón.

12. Calcule la rapidez de un ion de hidrógeno que se mueve sin desviación en una combinación de un campo magnético de 5×10^{-2} newton/amp-m y un campo eléctrico de 5×10^{-2} newton/culombio. Suponga que estos campos ejercen fuerzas sobre el ion en direcciones opuestas, como en un selector de velocidades.

13. Con la ayuda de un diagrama explique cómo se determina, con un espectrómetro de masa, la masa de los isótopos de los átomos.

14. Calcule la rapidez de un ion de hidrógeno (masa $= 1.67 \times 10^{-27}$ kg) atrapado en un campo magnético uniforme $B = 5$ newton/amp-m, si el radio de su trayectoria es de 1 m. La carga del ion es 1.6×10^{-19} culombio. También calcule su período de revolución.

15. Explique cómo demuestra el efecto Hall que los portadores de cargas en los metales son negativos.

16. ¿Por qué es necesario el conmutador en un motor de corriente directa?

17. Explique en qué difieren las substancias paramagnéticas, diamagnéticas y ferromagnéticas.

18. Compare el tamaño de un dominio magnético con el de un átomo de hierro.

19. Explique por qué las substancias ferromagnéticas ya no se pueden imantar cuando se calientan más allá de sus temperaturas Curie.

CAPITULO 5

INDUCCION ELECTROMAGNETICA

OBJETIVOS

Al terminar el estudio concienzudo de este capítulo, el estudiante debe ser capaz de:

1. Describir las corrientes inducidas y la fem inducida.
2. Describir cuantitativamente la fem inducida.
3. Definir el flujo magnético y relacionarlo con la fem inducida.
4. Describir el generador eléctrico, la bobina de inducción, el transformador, el betatrón y los principios electromagnéticos implicados en su operación.
5. Resolver problemas que impliquen circuitos de corriente alterna con condensadores y bobinas como elementos; definir y calcular la reactancia y la impedancia.
6. Describir las ondas electromagnéticas y el mecanismo que las produce.
7. Describir los circuitos oscilantes y su uso como detectores de ondas electromagnéticas.

NOTA PRELIMINAR

En nuestro estudio de la electricidad y el magnetismo hemos encontrado campos eléctricos y magnéticos, y hemos visto que una corriente eléctrica está rodeada por un campo magnético que se irradia en círculos concéntricos, desde el conductor que porta la corriente. En resumen, un campo *eléctrico* colocado entre los extremos de un alambre, produce un campo magnético alrededor del alambre. En este capítulo consideraremos la posibilidad de un efecto inverso, a saber, la corriente eléctrica inducida en un conductor, cuando un campo magnético se mueve con respecto al alambre. Este efecto se llama inducción electromagnética y es la fuente de muchas aplicaciones de la física a la industria y el comercio. Las bobinas de encendido, básicas en el sistema de ignición de los motores de automóvil, los generadores eléctricos y los transformadores son todos ellos producto de la inducción electromagnética.

Sección 1. Corrientes inducidas y fem inducida

1. Veamos el Panel 43. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

P

2. Panel 43. En la Fig. 1 se ha representado con una sola espira a una bobina de alambre consistente en muchas espiras aisladas entre sí; los extremos de la bobina están conectados a un amperímetro de bobina móvil *A,* que es un dispositivo que nos permite detectar y medir una ..... en la bobina.

* * * * *

corriente (el dispositivo que se usa para medir las *corrientes sumamente pequeñas* que se producen en este experimento, se llama *galvanómetro,* y su funcionamiento se basa en el mismo principio del amperímetro de bobina móvil).

3. Panel 43. El inserto nos permite leer el galvanómetro; en la Fig. 1 (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

no hay

4. Panel 43. Una flecha indica la dirección en que se mueve la barra imantada. En la Fig. 2, el imán se mueve (hacia/alejándose de) la bobina. El galvanómetro indica que (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

hacia; hay

5. Panel 43. En la Fig. 3, la barra imantada está (moviéndose hacia/alejándose de/estacionada dentro de) la bobina. El galvanómetro indica que (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

estacionada dentro de; no hay

6. Panel 43. En la Fig. 4, la barra imantada se mueve (hacia/alejándose de) la bobina, y el galvanómetro indica que (hay/no hay) corriente en ella.

* * * * *

alejándose de; hay

7. Panel 43. La existencia de una corriente en esta bobina parece depender del ..... de la barra imantada. Cuando la barra está en reposo, o no está presente (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

movimiento; no hay

8. Panel 43. Compare las figuras 2 y 4. Cuando el imán se mueve hacia la bobina, la aguja del galvanómetro se desvía a la (izquierda/derecha), y cuando se aleja de la bobina, la deflexión de la aguja es hacia la (derecha/izquierda). La corriente en las figuras 2 y 4 tiene (la misma dirección/direcciones opuestas).

* * * * *

izquierda; derecha; direcciones opuestas

9. Panel 43. En las figuras 2 y 4, el polo N del imán es el más cercano a la bobina. Un experimento natural es invertir el imán y moverlo hacia la bobina (Fig. 5), siendo así el polo S el más cercano a la bobina y, entonces, vemos que la aguja del amperímetro se desvía a la derecha; supongamos que ahora se aleja el imán de la bobina. Debemos esperar que la aguja del galvanómetro (se desvíe a la derecha/se desvíe a la izquierda/no se desvíe).

* * * * *

se desvíe a la izquierda

10. Estas figuras muestran una serie de experimentos: En las figuras 1 y 3, se mantienen fijos un imán y una bobina de alambre que tiene sus extremos conectados al galvanómetro *A*; en las figuras 2 y 4, la bobina

Fig. 1

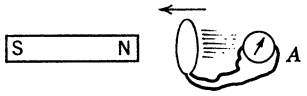


Fig. 2

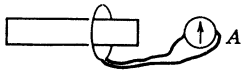


Fig. 3

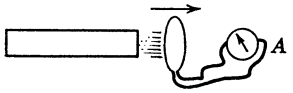


Fig. 4

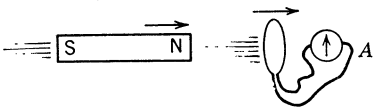
se acerca al imán, o se aleja de él, como se indica. Estos experimentos demuestran que *cuando está moviéndose la bobina* (hay/no hay) co-

rriente en ella, y que cuando ambos están en reposo, uno respecto al otro (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

hay; no hay

11. Los experimentos del Panel 43 y las figuras del marco anterior nos hacen suponer que habrá corriente en la bobina siempre que ella, o el imán, esté en (reposo/movimiento) *respecto al otro.* Si tanto la bobina



como el imán se mueven en la *misma* dirección y con la *misma* rapidez, (se están/no se están) moviendo uno respecto al otro, y esperamos que, debido a su movimiento (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

movimiento; no se están; no hay

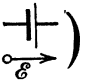
12. Vea el Panel 44. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

Y

13. Panel 44. En todo este experimento, las espiras de cada figura representan las bobinas *a* y *b* de alambre conductor, que están separadas y *en reposo* una respecto a la otra. Los insertos muestran las lecturas en el galvanómetro conectado a la bobina *b*. La bobina *b* (está/no está) conectada a una fuente de fem, y la *a* (está/no está) conectada a una fuente de fem.

* * * * *

no está; está (hay una batería representada por )

14. Panel 44. En cada una de las figuras, la bobina *a* (está/no está) en movimiento con respecto a la *b*. En la Fig. 1, el interruptor de la bobina *a* está (abierto/cerrado) y (fluye/no fluye) corriente en ella. El galvanómetro indica que (hay una/no hay) corriente en *b*.

* * * * *

no está; abierto; no fluye; no hay

15. Panel 44, Fig. 2. En este momento ha sido cerrado el interruptor y comienza a generarse una ..... en la bobina *a*.

* * * * *

corriente

16. Panel 44, Fig. 2. La corriente en *a* aumenta muy rápidamente de cero a un valor estable (en una pequeña fracción de segundo). Durante este período en que la corriente está aumentando en *a*, hay una rápida deflexión de la aguja del galvanómetro, de cero hacia la izquierda y nuevamente a cero, lo que indica que hay una corriente (estable/de muy poca duración) en *b* cuando la corriente está aumentando en *a* hasta un valor estable.

* * * * *

de muy poca duración

17. Panel 44. En la Fig. 3 se ha cerrado el interruptor y ahora fluye una corriente constante en *a*; el galvanómetro indica que (hay/no hay) corriente en *b*.

* * * * *

no hay

18. Panel 44. La Fig. 3 indica que en la bobina *b* no hay corriente cuando (no hay corriente/hay una corriente constante) en la bobina *a*; la Fig. 1 indica que no hay corriente *b* cuando (no hay corriente/hay una corriente constante) en *a*.

* * * * *

hay una corriente constante; no hay corriente

19. Panel 44. Considere la Fig. 4. En este momento se ha abierto el interruptor. En el breve tiempo en que disminuye la corriente en *a*, de su valor estable a cero, hay una deflexión en el galvanómetro. Cuando está disminuyendo la corriente en *a* (hay/no hay) corriente en *b*.

* * * * *

hay

20. Panel 44. La Fig. 4 indica que hay corriente en *b*, cuando la corriente en *a* (es constante/está disminuyendo/está aumentando); la figura 2 indica que hay corriente en *b* cuando la corriente en *a* (es constante/está disminuyendo/está aumentando).

* * * * *

está disminuyendo; está aumentando

21. Panel 44. Los experimentos mostrados aquí nos llevan a la conclusión de que cuando se fijan dos bobinas en reposo relativo, como aquí *a* y *b*, en la bobina que *no está* conectada a la fuente de fem, fluye una corriente sólo cuando (es constante/está cambiando) la corriente en la otra.

* * * * *

está cambiando

22. Veamos qué tienen en común los experimentos de los Paneles 43 y 44. En efecto, en el Panel 43 estamos moviendo un campo .... con respecto a la bobina.

* * * * *

magnético

23. Panel 44. Cuando se cierra el circuito de la bobina *a*, rápidamente se forma una corriente en ella, y al mismo tiempo se desarrolla un campo ..... a su alrededor; conforme este campo se extiende alrededor de *a* (se está/no se está) moviendo con respecto a *b*. Este campo *se mueve* solamente cuando la corriente en *a* (es constante/está aumentando).

* * * * *

magnético; se está; está aumentando

24. Panel 44. En la Fig. 3, la corriente en *a* es constante; el campo magnético alrededor de *a* está (moviéndose/en reposo) con respecto a *a* y *b*. En la Fig. 4, cuando se abre el circuito, la corriente en *a* disminuye rápidamente, y el campo alrededor de ella (permanece constante/aumenta/disminuye).

* * * * *

en reposo; disminuye

25. Panel 44. Cuando está disminuyendo la corriente en *a*, el campo magnético a su alrededor (permanece constante/aumenta/disminuye) y está (moviéndose/en reposo) con respecto a *b*.

* * * * *

disminuye; moviéndose

26. Panel 44. Durante todo este experimento, las bobinas *a* y *b* están (moviéndose/en reposo) una respecto a la otra. En las figuras 2 y 4, el campo magnético de la bobina *a* está (en reposo/moviéndose) con respecto a la bobina *b*.

* * * * *

en reposo; moviéndose

27. Panel 44. Hay una corriente en la bobina *b,* siempre que ésta y el ..... de la bobina *a* estén (en reposo/moviéndose) uno respecto al otro.

* * * * *

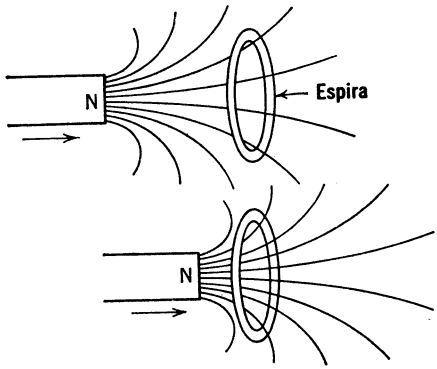
campo magnético; moviéndose

28. Panel 44. No hay corriente en la bobina *b* cuando ésta y el campo magnético de *a* están (en reposo/moviéndose) uno respecto al otro. En principio, las situaciones de los Paneles 43 y 44 (son/no son) similares *(explique su respuesta).*

* * * * *

en reposo; son (en el Panel 43, el movimiento relativo del imán y la bobina producían una corriente en ésta; tal es, en principio, la situación que tenemos en el Panel 44).

29. Una forma de describir los efectos en los Paneles 43 y 44 es considerar lo que sucede al número de líneas de campo magnético que pasan



a través de la espira, cuando el campo magnético se acerca o se aleja de ella: a medida que el imán se va acercando a la bobina, el número de líneas de campo magnético a través de la espira (aumenta/disminuye/permanece constante) y (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

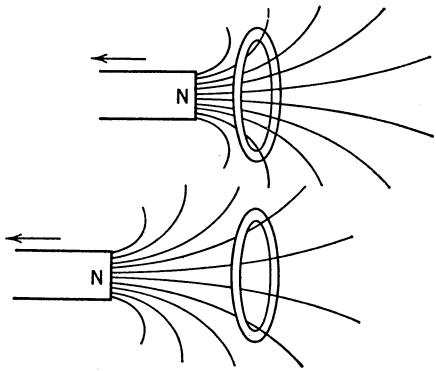
aumenta; hay

30. Veamos la figura del cuadro anterior. Cuando el imán deja de moverse con respecto a la bobina, el número de líneas de campo magnético en la espira (aumenta/disminuye/permanece constante) y (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

permanece constante; no hay

31. En esta figura, el imán se está alejando de la bobina; el número de líneas de campo magnético en la espira (aumenta/disminuye/permanece



constante) y (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

disminuye; hay

32. En general, fluye una corriente en una bobina (sólo cuando aumenta/sólo cuando disminuye/cuando aumenta o disminuye/cuando no cambia) el número de líneas de campo magnético en la espira.

* * * * *

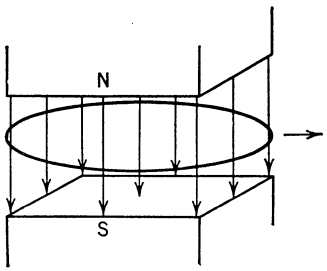
cuando aumenta o disminuye

33. Repasemos los Paneles 43 y 44: la corriente fluye en la bobina del Panel 43 y en la bobina *b* del Panel 44, sólo cuando (cambia/no cambia) el número de ..... de .... en la espira.

* * * * *

cambia; líneas (de) campo magnético

34. Cuando esta bobina se mueve de derecha a izquierda, o de izquierda a derecha, a través de este campo magnético uniforme, el número de

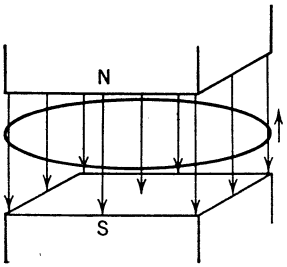


líneas de campo en su espira (cambia/permanece constante) y (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

cambia; hay

35. Cuando esta bobina sube o baja, es decir, cuando se mueve paralelamente al campo, el número de líneas de campo magnético que pasan



a través de su espira (cambia/permanece constante) y (hay/no hay) corriente en la bobina.

* * * * *

permanece constante; no hay

36. La corriente que fluye en una bobina de alambre al cambiar el número de líneas magnéticas que pasan a través de sus espiras, se llama *corriente inducida.* La corriente en la bobina *a* de la Fig. 3, Panel 44, (es/no es) una corriente inducida; la corriente en la bobina *b* de la Fig. 2 (es/no es) una corriente inducida.

* * * * *

no es; es

37. Panel 43, figuras 2 y 4. Las corrientes en la bobina de estas figuras son el resultado de cambios en el ..... de ..... de .... que pasan a través de la espira de la bobina. Las corrientes producidas en esta forma se llaman .....

* * * * *

número (de) líneas (de) campo magnético; inducidas

38. En el capítulo 3 vimos que cuando se mantiene una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor, fluye corriente eléctrica en él; el dispositivo que mantiene tal diferencia de potencial se llama ..... de .....

* * * * *

fuente (de) fem

39. Suponemos que fluye una corriente inducida, porque el movimiento del .... respecto a la bobina, produce una diferencia de potencial entre cualesquier dos puntos de ella; por esta razón decimos que la corriente *inducida* es el resultado de una fem .....
* * * * *

campo magnético; inducida

40. *Inducción electromagnética* es el nombre que se da a fenómenos tales como corrientes inducidas y fem inducida. Estos fenómenos se producen cuando las corrientes (permanecen constantes/varían) y cuando los campos magnéticos (permanecen constantes/varían). La existencia de una fuerza magnética entre dos alambres paralelos, rectos y largos, portando corrientes estables (está/no está) asociada con la inducción electromagnética
* * * * *

varían; varían; no está

41. Los dispositivos como el generador eléctrico y el transformador, dependen de campos magnéticos cambiantes producidos por corrientes variables, y de corrientes producidas por campos magnéticos cambiantes. Tales dispositivos (se basan/no se basan) en los principios de la inducción electromagnética.
* * * * *

se basan

42. Las corrientes inducidas y las fem inducidas ocurren en conductores tales como bobinas de alambre, cuando el conductor y un .... están (en reposo/moviéndose) uno respecto al otro. A tales corrientes y fem las asociamos con la inducción .....
* * * * *

campo magnético; moviéndose; electromagnética

Sección 2. Tratamiento cuantitativo de la fem inducida $\mathcal{E} = Blv$ La ley de Lenz

1. Vea el Panel 45. La letra en la esquina superior derecha es una ....
* * * * *

B

2. Panel 45. En la Fig. 1 vemos una espira rectangular de alambre, de ancho l, que está siendo jalada a la derecha con una rapidez v, a través

de un campo magnético uniforme; al moverse, el número de líneas de campo magnético dentro de la espira (cambia/permanece constante), y (hay una/no hay) corriente inducida en la espira.

* * * * *

cambia; hay una

3. Panel 45. Conforme la espira se mueve a la derecha, los electrones de conducción en el alambre se mueven con ella; estos electrones son partículas cargadas que se mueven en un campo ....., y habrá una fuerza ..... sobre ellos, debido a su movimiento (como parte de la espira).

* * * * *

magnético; magnética

4. Panel 45. Aplique la regla de la mano derecha para fuerzas magnéticas actuando sobre partículas cargadas en movimiento en campos magnéticos, a los electrones de conducción de la sección *ab* de la espira rectangular. Estos electrones se mueven de (*a* a *b*/*b* a *a*) y tienden a fluir en la espira, en el sentido (de las manecillas del reloj/contrario a las manecillas del reloj).

* * * * *

Aplicación de la regla: Los dedos apuntando hacia adentro de la página y el pulgar a la derecha, porque los electrones están cargados negativamente; la palma de la mano derecha mira hacia abajo, por tanto, los electrones de conducción *se mueven* **de** *a* **a** *b*, es decir, en la espira fluyen en sentido **contrario a las manecillas del reloj.**

5. Panel 45, Fig. 1. Cuando $\vec{v}$ es hacia la derecha, la *corriente eléctrica* en la espira fluye en el sentido (de/contrario a) las manecillas del reloj.

* * * * *

de

6. Panel 45, Fig. 1. La fuerza magnética sobre un electrón de conducción en el lado *ab* del rectángulo es $F_B =$ ..... *(en función de B, q y v).*

* * * * *

Bvq

7. Panel 45, Fig. 1. El trabajo que realiza la fuerza magnética F_B para mover a un solo electrón de conducción la distancia *l*, es:

(1) $W =$ ..... en función de F_B y *l*.

(2) $F_B = Bvq$.

(3) Trabajo = ... en función de l, B, v y q.

* * * * *

$F_B l$

$W = F_B l = Bvql$

8. Panel 45, Fig. 1.

(1) $W = Bvql$.

(2) La fem inducida es: $\mathcal{E} = \dfrac{W}{q}$

(3) $\mathcal{E}$ = ... en función del campo, de l y de la rapidez con que l se mueve a través del campo.

* * * * *

Bvl

9. Panel 45, Fig. 1. Suponga $B = 6 \times 10^{-4}$ newton/amp-m, $v = 2$ m/seg y $l = 0.20$ m. La fem inducida es $\mathcal{E}$ = ... voltio(s).

* * * * *

$$\mathcal{E} = Bvl = (6 \times 10^{-4} \text{ newton/amp-m})\,(2 \text{ m/seg})\,(0.20 \text{ m})$$

$$= 2.4 \times 10^{-4} \frac{\text{newton}}{\text{amp-m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}} \cdot (\text{m})$$

$$= 2.4 \times 10^{-4} \frac{\text{newton}}{\text{cul/seg}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 2.4 \times 10^{-4} \frac{\text{newton-m}}{\text{culombio}} =$$

$$= 2.4 \times 10^{-4} \frac{\text{julios}}{\text{culombio}} = \mathbf{2.4 \times 10^{-4}\ voltio}$$

10. Panel 45, Fig. 1. ¿Con qué rapidez v en metros por segundo debe moverse a través de $\vec{B}$ la sección ab de esta espira, para producir una fem inducida de 5 voltios, si $l = 0.20$ m y $B = 3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m?

* * * * *

$\mathcal{E} = Bvl$

$$v = \frac{\mathcal{E}}{Bl} = \frac{5 \text{ voltios}}{(3 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m})\,(0.20 \text{ m})}$$

$$= 8.33 \times 10^{2} \frac{\text{julios/culombio}}{\text{newton/amp}}$$

$$= 8.33 \times 10^{2} \frac{\text{(newton-m/cul)}}{\text{newton/(cul/seg)}}$$

$$= 8.33 \times 10^{2} \frac{\text{m}}{\text{culombio}} \times \frac{\text{culombio}}{\text{seg}} = \mathbf{8.33 \times 10^{2}}\ \text{m/seg}$$

11. $\mathcal{E} = Bvl$. Al deducir unidades para nuestra respuesta, podemos ahorrarnos mucho tiempo cuando usemos esta fórmula, si recordamos las unidades que se le aplican. Estas son: ..... para B, ... para v, ... para $\mathcal{E}$, y .... para l.

* * * * *

newton/amp-m; m/seg; voltios; m

12. Panel 45, Fig. 1. Si la fem inducida es de 0.5 voltio, l es 50 cm y v vale 250 cm/seg, calcule B.

* * * * *

$\mathcal{E} = Bvl$

$B = \dfrac{\mathcal{E}}{vl}$, donde $\mathcal{E} = 0.5$ voltio, $v = 2.5$ m/seg y $l = 0.50$ m

$B = \dfrac{(0.5)}{(2.5)\,(0.50)} = 0.4$ newton/amp-m

13. Panel 45. La fem producida en esta espira impulsa una ..... eléctrica alrededor de ella en la dirección (de/contraria a) las manecillas del reloj.

* * * * *

corriente; de

14. Panel 45, Fig. 1. Cuando la espira está moviéndose a la derecha, se mueve una corriente inducida en ella; en la sección *ab* se mueve de (*a* a *b*/*b* a *a*). Una corriente inducida, como cualquiera otra corriente eléctrica en un conductor (está/no está) sometida a una fuerza magnética, cuando está dentro de un campo magnético.

* * * * *

b a *a*; está

15. Panel 45, Fig. 1. Determine la dirección de la fuerza magnética sobre la sección *ab*, ocasionada por la corriente inducida en esta sección. Se dirige hacia (arriba/abajo/adentro de la página/afuera de la página/la derecha/la izquierda).

* * * * *

la izquierda (los dedos apuntando a la página, el pulgar hacia arriba, la palma de la mano derecha hacia la izquierda).

16. Panel 45, Fig. 1. Suponga que se invierte $\vec{v}$ y que la espira se empujada de derecha a izquierda a través del campo; entonces, la corriente inducida en *ab* se mueve de (*a* a *b*/*b* a *a*) y la fuerza magnética

sobre esta sección, debida a la corriente inducida en ella, está dirigida hacia la (derecha/izquierda).

* * * * *

a a *b*; derecha

17. Panel 45, Fig. 1. Cuando el movimiento de la espira es hacia la derecha, la corriente inducida en *ab* es tal que el campo magnético tiende a empujar a *ab* a la (derecha/izquierda). Cuando el movimiento de la espira es hacia la izquierda, la corriente inducida en *ab* es tal que el campo magnético tiende a empujar a *ab* a la (derecha/izquierda).

* * * * *

izquierda; derecha

18. La acción del campo magnético sobre la corriente inducida es un ejemplo de la Ley de Lenz, que afirma que las corrientes eléctricas ..... siempre (se oponen/refuerzan) al cambio o movimiento que las produce.

* * * * *

inducidas; se oponen

19. Panel 45. En la Fig. 1, el "cambio" que produce corriente inducida es el ..... de la espira en el campo magnético; la interacción de la corriente inducida con el campo magnético es tal, que se produce una fuerza ..... que tiende a (retardar/acelerar) este movimiento de la espira. Esto ilustra la Ley de .....

* * * * *

movimiento; magnética; retardar; Lenz

20. Panel 45. La Fig. 3 es un corte transversal de una espira de alambre; la corriente inducida en esta espira por el imán al (acercarse a/alejarse de) ella, fluye hacia adentro de la página (marca $\times$) en la parte inferior de la espira, y hacia afuera de la página ($\odot$) en la parte superior de la misma.

* * * * *

acercarse a

21. Panel 45, Fig. 3. Aplique la regla de la mano derecha para determinar la dirección del campo magnético producido por la corriente inducida en el centro de la espira. El campo se mueve de (izquierda a derecha/derecha a izquierda).

* * * * *

Agarre la espira con los dedos de la mano derecha apuntando en la dirección de la corriente inducida; el pulgar indicará la dirección del campo magnético. En este caso, el pulgar indica un campo de *izquierda a derecha.*

22. Panel 45, Fig. 3. Esto significa que la cara derecha de la espira actúa como polo (N/S) y tiende a (repeler/atraer) al imán que se acerca a ella.

* * * * *

N; repeler

23. Panel 45, Fig. 3. La corriente inducida en la espira por el movimiento del imán que se acerca a ella es tal, que tiende a (oponerse/reforzar) al cambio que la produce. La figura 3 (es/no es) un ejemplo de la ley de Lenz.

* * * * *

oponerse; es

24. Panel 45. La ley de Lenz es especialmente útil para determinar la dirección de corrientes inducidas. En la Fig. 4, el imán se está alejando de la espira. Conforme a la ley de Lenz, la corriente inducida en la espira debe fluir en tal forma que tienda a (aumentar/disminuir) la rapidez del imán.

* * * * *

disminuir

25. Panel 45, Fig. 4. La corriente inducida en la espira tiende a retardar el movimiento del imán; el campo magnético de la misma (atrae/repele) a la barra imantada; esto sucederá, si el campo magnético producido por la corriente inducida se dirige (de derecha a izquierda/de izquierda a derecha).

* * * * *

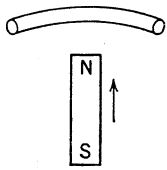
atrae; de derecha a izquierda

26. Panel 45, Fig. 4. Si el campo magnético producido por *i* debe apuntar de derecha a izquierda, la corriente inducida deberá fluir hacia (adentro/afuera) de la página, en la parte superior, y hacia (adentro/afuera) de la página, en la parte inferior.

* * * * *

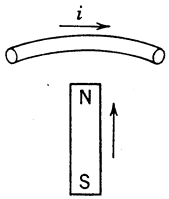
adentro; afuera

27.

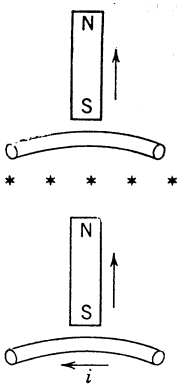


Sobre esta sección transversal de espira, dibuje una flecha que indique la dirección de la corriente inducida en ella.

* * * * *



28. Bajo esta sección transversal de espira, dibuje una flecha que indique la dirección de su corriente inducida.



29. Para determinar la dirección de una corriente inducida en una espira de alambre, usamos la ..... de ....., que afirma que una corriente inducida (se opone al/refuerza el) cambio que la produce.

* * * * *

ley (de) Lenz; se opone al

30. Panel 45, Figs. 1 y 2. En efecto, la ley de Lenz afirma que para producir energía eléctrica en la espira, debemos realizar un ..... contra el campo magnético; esta energía eléctrica debe venir de alguna

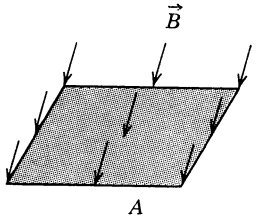
parte. La ley de Lenz es una aplicación de la ley de la conservación de la ..... a las corrientes inducidas.

* * * * *

trabajo; energía

Sección 3. Flujo magnético: $\phi = AB \operatorname{sen} \theta$ *fem inducida, en función del cambio de flujo magnético:* $\mathcal{E} = \dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$

1. Se ha encontrado conveniente definir la cantidad física llamada *flujo magnético* a través de una superficie de área A, como el *producto* del *área* por el campo y por el seno del ángulo θ entre $\vec{B}$ y la superficie.



Si usamos ϕ (la letra griega fi) para representar al flujo magnético, entonces, en símbolos: $\phi =$ .....

* * * * *

$\phi = AB \operatorname{sen} \theta$

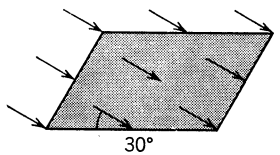
2. Veamos la figura del cuadro anterior. $\vec{B} = 2 \times 10^{-2}$ newton/amp-m *perpendicular* a A, y $A = 3 \times 10^{-4}$ m^2. Puesto que sen $90° = 1$, $\phi =$ ..... *(número y unidades).* ϕ es el producto de una cantidad vectorial por una cantidad ..... ϕ (es/no es) una cantidad vectorial.

* * * * *

$\phi = AB \operatorname{sen} \theta = (3 \times 10^{-4}\ \text{m}^2)(2 \times 10^{-2}\ \text{newton/amp-m})(\operatorname{sen} 90°)$

$= 6 \times 10^{-6} \dfrac{\text{newton-m}}{\text{amp}}$; escalar; es.

3.



Encuentre en sus tablas trigonométricas el seno de 30° y calcule el flujo magnético. $A = 5 \times 10^{-3}$ m²; $\vec{B} = 4 \times 10^{-2}$ newton/amp-m.

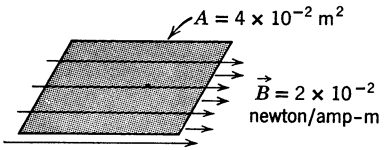
* * * * *

sen 30° = 0.5

$\phi = AB \operatorname{sen} \theta = (5 \times 10^{-3}\ \text{m}^2)(4 \times 10^{-2}\ \text{newton/amp-m})(0.5)$

$$= 10 \times 10^{-5} \frac{\text{newton-m}}{\text{amp}} = 1 \times 10^{-4} \frac{\text{newton-m}}{\text{amp}}$$

4. En esta figura, $\vec{B}$ es (perpendicular/paralelo) a la superficie A. El ángulo entre $\vec{B}$ y A es de ..... grados y ϕ = ... newton-m/amp.



* * * * *

paralelo; 0, cero; 0, cero

5. El flujo magnético a través de una superficie se define como el .... del campo ..... por el ..... de la superficie por el ..... del ángulo entre ellos.

* * * * *

producto; magnético; área; seno

6. $\vec{\phi} = A\vec{B} \operatorname{sen} \theta$. Al aumentar θ, su seno (aumenta/disminuye/permanece constante). El valor máximo del seno de θ ocurre cuando θ = ... grados. ϕ alcanza su valor máximo cuando $\vec{B}$ es (perpendicular/paralelo) a la superficie A.

* * * * *

aumenta; 90; perpendicular

7. $\phi = A\vec{B} \operatorname{sen} \theta$. Un cambio en A (produce/no produce) un cambio en ϕ; un cambio en la magnitud de $\vec{B}$ (produce/no produce) un cambio en ϕ; un cambio en la dirección de $\vec{B}$ (produce/no produce) un cambio en $\vec{\phi}$.

* * * * *

produce; produce; produce

8. Usaremos $\Delta\phi$ para representar el *cambio de flujo magnético* que tiene lugar cuando cambia $\vec{B}$ ó A. $\vec{\phi}_2$ es (mayor/menor) que $\vec{\phi}_1$, porque .....

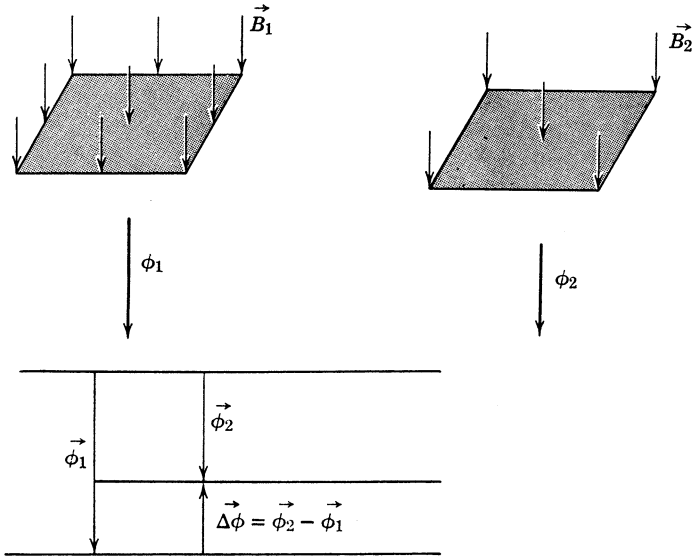


Fig. 3

..... es mayor que .....
$\Delta\vec{\phi}$ = ... — .....
* * * * *
menor; $\vec{B}_1$; $\vec{B}_2$; $\vec{\phi}_2 - \vec{\phi}_1$

9. Vea la Fig. 3 del cuadro anterior. Note que en este caso $\Delta\vec{\phi}$ [*(a)* tiene la misma dirección que $\vec{\phi}_1$ y $\vec{\phi}_2$/*(b)* es opuesto a $\vec{\phi}_1$ y a $\vec{\phi}_2$)].
* * * * *
(b)

10. Usamos $\Delta\vec{\phi}$ para representar el ..... de *flujo magnético* conforme el tiempo pasa. Si $\vec{\phi}_1$ representa el flujo magnético en el momento t_1 y $\vec{\phi}_2$ el flujo en el momento t_2 posterior, entonces, $\Delta\vec{\phi}$ = ...
* * * * *
cambio; $\vec{\phi}_2 - \vec{\phi}_1$

11. El flujo magnético a través de la espira (área A_1) de la Fig. 1 es (mayor que/menor que/igual a) el flujo magnético a través de la espira (área A_2) de la Fig. 2.

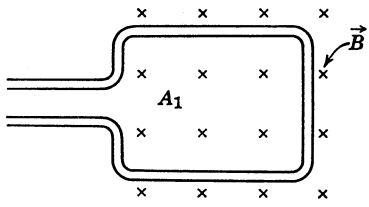


Fig. 1

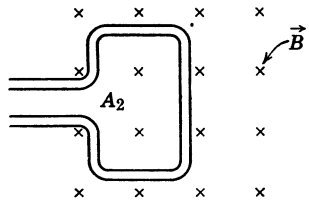


Fig. 2

Un cambio en el área de una espira introducida en un campo magnético uniforme (cambia/no cambia) ϕ.

* * * * *

mayor que; cambia

12. Podemos cambiar el flujo magnético a través de una espira, cambiando el ..... a través de la espira, o cambiando el ..... de la espira.

* * * * *

campo magnético; área

13. Vea el Panel 45, figuras 1 y 2. En la sección 2 de este capítulo vimos que la fem inducida en la parte *ab* de la espira, al moverse con una rapidez v a través del campo magnético B, es $\mathcal{E} =$ .....

* * * * *

Bvl

14. Panel 45. Compare las figuras 1 y 2. En el intervalo de tiempo Δt entre estas figuras, la sección *ab* se ha movido una distancia $x_1 - x_2$, o sea ....., como se muestra en la figura 2.

* * * * *

Δx

15. Panel 45, figuras 1 y 2.

(1) $\mathcal{E} = Bvl$

(2) $v =$ ..... (en función de Δx y Δt).

* * * * *

$$\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

16. Panel 45, figuras 1 y 2.

(1) $\mathcal{E} = Bvl$

(2) $v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$

(3) $\mathcal{E} =$ ..... (en función de B, l, Δt y Δx).

* * * * *

$B\dfrac{\Delta x l}{\Delta t}$ o bien: $\dfrac{B\,\Delta x l}{\Delta t}$

17. Panel 45, figuras 1 y 2.

(1) $\mathcal{E} = Bvl$

(2) $\mathcal{E} = \dfrac{B\,\Delta x l}{\Delta t}$

(3) El producto $l\,\Delta x$ es el ..... en el ..... a través de la cual pasa $\vec{B}$.

* * * * *

cambio; área

18. Panel 45, figuras 1 y 2. Al moverse a la derecha la espira rectangular, hay un cambio en el área a través del cual pasa $\vec{B}$; sea ΔA este cambio. En el intervalo de tiempo Δt de la Fig. 1 a la Fig. 2, $\Delta A =$ ..... (en función de l y Δx).

* * * * *

$l\Delta x$

19. Panel 45, figuras 1 y 2.

(1) $\mathcal{E} = Bvl$

(2) $v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$

(3) $\mathcal{E} = \dfrac{B\,\Delta x}{\Delta t} l$

(4) $\Delta A = l\,\Delta x$

(5) $\mathcal{E} =$ ..... (en función de B, del cambio en el área a través de la cual pasa $\vec{B}$, y de Δt).

* * * * *

$B\dfrac{\Delta A}{\Delta t}$

20. Hemos visto que un cambio en el área a través del cual pasa un campo magnético constituye un cambio en el ..... magnético. En sím-

bolos, podemos describir así lo que sucede en las figuras 1 y 2 del Panel 45: $\Delta\phi$ = ...

* * * * *

flujo; $B\,\Delta A$

21. Panel 45, figuras 1 y 2.

(1) $\mathcal{E}$ = ... (en función del campo, la rapidez y la longitud de ab).

(2) v = ... (en función de Δx yΔt).

(3) $\mathcal{E}$ = ... (en función del campo, de Δx, Δt y de la longitud de ab).

(4) $\mathcal{E}$ = ... (en función del campo, de ΔA y de Δt).

(5) $\mathcal{E}$ = ... (en función del cambio de flujo magnético y de Δt).

* * * * *

(1) $\mathcal{E} = Bvl$; (2) $v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$; (3) $\mathcal{E} = B\dfrac{\Delta x}{\Delta t}\,l$ ó $\dfrac{Bl\,\Delta x}{\Delta t}$;

(4) $\mathcal{E} = \dfrac{B\,\Delta A}{\Delta t}$; (5) $\mathcal{E} = \dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$

22. Hemos demostrado que se puede describir a la fem inducida, como la cantidad de ..... de .... por unidad de ....., por lo menos en la situación descrita en el Panel 45, donde el $\Delta\phi$ resulta de un cambio en el ..... a través del cual pasa $\vec{B}$.

* * * * *

cambio; flujo magnético; tiempo; área

23. $\mathcal{E} = \dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$. Experimentalmente se puede demostrar que esta ecuación es perfectamente general y que se aplica, ya sea que $\Delta\phi$ lo produzca un cambio en A o un cambio en $\vec{B}$. En el Panel 45, Figs. 3 y 4, lo que produce un $\Delta\phi$, y por lo tanto una fem inducida, es el cambio en $(\vec{B}/A)$.

* * * * *

$\vec{B}$ (porque el área de la espira permanece constante).

24. Vea el Panel 45, Figs. 3 y 4. Aquí el $\Delta\phi$, que produce una fem inducida en la bobina, resulta de un cambio en (el área de la bobina/ el campo magnético dentro de la bobina).

* * * * *

el campo magnético dentro de la bobina

25. Vea el Panel 46. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

K

26. Panel 46. En la Fig. 1, el $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ que produce fem inducida, resulta de un cambio en $(A/\vec{B})$.

* * * * *

A

27. Panel 46. En la Fig. 2*(a)* vemos que un conductor embobinado es estirado y unido a unos retenes; cuando se retiran los retenes, el área de la espira en el campo magnético (aumenta/disminuye/permanece constante), y (se/no se) induce una fem en la bobina.

* * * * *

disminuye; se

28. Panel 46. La Fig. 3 es un dibujo esquemático de un electroimán; los alambres en forma de solenoides están enrollados en los extremos de una pieza de hierro. Cuando fluye una corriente a través de los solenoides, se produce un campo magnético en el claro; la magnitud y dirección de este campo depende de la ..... en los solenoides.

* * * * *

corriente

29. Panel 46, Fig. 3. Al aumentar *i*, el campo magnético en el claro (aumenta/disminuye). El objeto del hierro es el de concentrar este campo en el claro, para que pase a través de un área con las mismas dimensiones de las caras de los polos. $\vec{B}$ (está/no está) completamente contenido en la espira.

* * * * *

aumenta; está

30. Panel 46, Fig. 3. Podemos cambiar el flujo magnético en la espira, cambiando la ..... en el solenoide; (es/no es) necesario mover la espira o el campo, para producir un cambio de flujo magnético.

* * * * *

corriente; no es

31. Panel 46, Fig. 3. $\mathcal{E} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$. Si cambiamos la corriente en los solenoides, el cambio en $\vec{B}$ tiene lugar completamente *dentro* de la espira; (hay/no hay) cambio en $\vec{\phi}$, y (se/no se) produce una fem en la espira.

* * * * *

hay; se

32. Panel 46, Fig. 3. Para que se induzca una fem en una espira, es necesario que haya un ..... de ..... magnético dentro de la espira. (Es/no es) necesario que la espira siempre corte perpendicularmente a las líneas de campo magnético.

* * * * *

cambio; flujo; no es

33. En el capítulo 3 vimos que la existencia de una corriente eléctrica entre dos puntos de un conductor es prueba de que existe un campo (magnético/eléctrico) entre esos puntos del conductor.

* * * * *

eléctrico

34. Panel 46. El experimento indica que (hay/no hay) corriente en la espira de la Fig. 3 cuando hay un cambio en el campo entre los imanes, sin que ninguna parte del campo toque al conductor; esto es prueba de que (hay un/no hay) campo eléctrico en la espira.

* * * * *

hay; hay un

35. Para explicar la existencia de un campo eléctrico alrededor de un campo magnético cambiante, vea el Panel 31, Fig. 2; ahí vimos que una corriente *eléctrica* está rodeada por un campo (eléctrico/magnético) que se extiende desde el alambre, en círculos concéntricos.

* * * * *

magnético

36. Por lo tanto, no es absurdo sugerir que un campo magnético cambiante pudiera ser rodeado por un campo (eléctrico/magnético) que se irradie desde él en círculos concéntricos, y que esto explicara el campo ..... que sabemos que existe en la espira de la Fig. 3 del Panel 46.

* * * * *

eléctrico; eléctrico

37. Prosigamos con esta analogía. Vimos que el campo magnético B a una distancia d de un alambre recto y largo portando una corriente i, se encuentra con la ecuación: $B =$ .....

* * * * *

$2 \times 10^{-7} \frac{i}{d}$

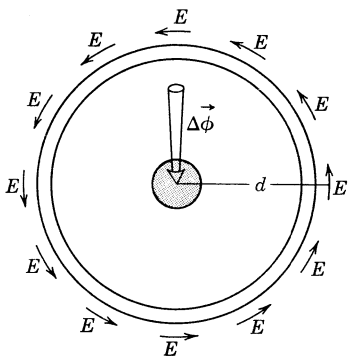
38. $B = 2 \times 10^{-7} \frac{i}{d}$.

El campo magnético en un punto alrededor de un alambre recto y largo por el que fluye una corriente, es (directamente/inversamente) proporcional a la distancia entre el punto y el alambre.

* * * * *

inversamente

39. Suponga que un campo magnético cambiante, representado aquí por el área sombreada esté, de hecho, rodeado por un campo eléctrico con un valor E a una distancia d; sea q la carga sobre un electrón de



conducción en la espira de alambre mostrada aquí. La fuerza eléctrica sobre q es $F =$ .....

* * * * *

Eq

40. Vea la figura del cuadro anterior.

(1) $F = Eq$.

(2) El trabajo realizado al mover un electrón de conducción alrededor de la circunferencia ($= 2\pi d$) de la espira, es $W =$ ..... (en función de E, q y d).

* * * * *

$W = Eq(2\pi d)$

41. Vea la figura del cuadro 39.

(1) $F = Eq$.

(2) $W = Eq(2\pi d)$.

(3) La fem inducida es $\mathcal{E} =$ ..... *(en función de* $\Delta\phi$ y Δt*).*

(4) $\mathcal{E} =$ ..... *(en función de* W y q*),* y $\mathcal{E} =$ .... *(en función de* E y d*).*

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}; \quad \mathcal{E} = \frac{W}{q};$$

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q} = \frac{Eq(2\pi d)}{q} = E(2\pi d)$$

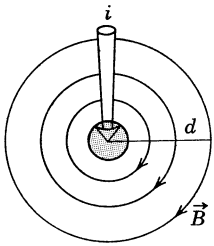
42. (1) $\mathcal{E} = \dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$. (2) $\mathcal{E} = E(2\pi d)$.

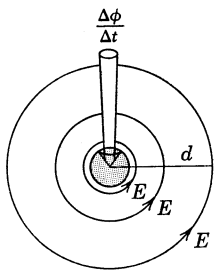
(3) Use (1) y (2) para despejar a E, en función de $\Delta\phi$, d y Δt. $E =$ .....

* * * * *

$$E(2\pi d) = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}; \quad E = \frac{1}{2\pi d} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

43. $B = 2 \times 10^{-7} \dfrac{i}{d}$. En un punto a una distancia d de un alambre recto y largo con corriente, el campo ..... varía (directamente/ inversamente) con d.





$E = \frac{1}{2\pi d} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$. En un punto a una distancia d de un campo magnético cambiante, el campo ..... inducido varía (directamente/inversamente) con d.

* * * * *

magnético; inversamente; eléctrico; inversamente

44. $E = \frac{1}{2\pi d} \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$. Esta ecuación para el campo eléctrico inducido está comprobada experimentalmente; también está comprobado que un flujo magnético (cambiante/constante) está rodeado por un campo eléctrico, en la misma forma en que una corriente eléctrica en un conductor está rodeada por un campo magnético.

* * * * *

cambiante

45. En la forma más general podemos atribuirle al ..... magnético cambiante, las corrientes inducidas y la fem inducida. Este cambio puede deberse a un cambio de magnitud o de dirección del ...., o a un cambio del ..... a través del cual pasa.

* * * * *

flujo; campo magnético; área

46. Podemos explicarnos las corrientes y la fem inducida, suponiendo que los campos ..... se irradian de regiones donde hay un ..... magnético (constante/cambiante).

* * * * *

eléctricos; flujo; cambiante

Sección 4. El generador

1. Vea el Panel 47. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

A

2. Panel 47. En la Fig. 1, se hace girar una manivela unida al eje de la espira *abcd,* a través de un campo magnético uniforme $\vec{B}$, como se indi-

ca, dando a las secciones *ab* y *cd* de la espira una rapidez constante *v*. Si $ab = cd = l$, entonces la fem inducida en *ab*, o en *cd*, es $\mathcal{E} =$ .....

* * * * *

Bvl

3. $\mathcal{E} = Bvl$. Dedujimos esta ecuación para la Fig. 1 del Panel 45, donde $\vec{v}$ y $\vec{B}$ eran (perpendiculares/paralelos) entre sí.

* * * * *

perpendiculares

4. $\mathcal{E} = Bvl$ sen θ es la ecuación general para la fem inducida. θ es el ángulo entre $\vec{B}$ y la dirección en que se mueve *l*. En la Fig. 1 del Panel 47, *ab* y *cd* están moviéndose (perpendicularmente/paralelamente) al campo, y θ vale ..... grados.

* * * * *

perpendicularmente; 90

5. Panel 47. En la Fig. 2 se ha girado 90° la manivela; ahora *ab* y *cd* se están moviendo (perpendicularmente/paralelamente) al campo, y θ vale ..... grados. En este caso, la fem inducida en *ab*, o en *cd*, tiene su (máximo/mínimo) valor.

* * * * *

paralelamente; 0 ó cero; mínimo

6. Panel 47, Figs. 1 y 2. $\mathcal{E} = Bvl$ sen θ.
El valor de sen θ varía, de un mínimo de cero cuando *l* está moviéndose (perpendicularmente/paralelamente) a $\vec{B}$, a un máximo de 1 cuando *l* está moviéndose (perpendicularmente/paralelamente) a $\vec{B}$.

* * * * *

paralelamente; perpendicularmente

7. Panel 47, Figs. 1 y 2. La fem inducida en *ab* en *cualquier* momento, está dada por la ecuación $\mathcal{E} = Bvl$ sen θ. Al girar la espira *B* es (constante/variable), *v* es (constante/variable), *l* es (constante/variable), y sen θ es (constante/variable).

* * * * *

constante; constante; constante; variable

8. Cuando *ab* está moviéndose perpendicularmente a $\vec{B}$ y sen $\theta =$ .... *(número)*, $\mathcal{E}_{ab} = Bvl$ sen θ se convierte en $\mathcal{E}_{ab} = Bvl$. La fem inducida

en *ab* llega a su (máximo/mínimo) cuando *ab* está moviéndose perpendicularmente a $\vec{B}$; cuando *ab* está moviéndose paralelamente a $\vec{B}$, la fem inducida en ella tiene su valor (máximo/mínimo).
* * * * *

1; máximo; mínimo

9. Panel 47. En cualquier instante dado de su rotación a través de $\vec{B}$, la fem inducida en *ab* es $\mathcal{E}_{ab} =$ .....; en el mismo instante, la fem inducida en *cd* es $\mathcal{E}_{cd} =$ ..... Puesto que en cualquier instante dado $\mathcal{E}_{cd}$ y $\mathcal{E}_{ab}$ tienden a impulsar a la corriente eléctrica en la misma dirección, la fem inducida total es ($\mathcal{E}_{ab} + \mathcal{E}_{cd}$/ $\mathcal{E}_{ab} - \mathcal{E}_{cd}$).
* * * * *

Bvl sen θ y Bvl sen θ (puesto que $ab = cd = l$); $\mathcal{E}_{ab} + \mathcal{E}_{cd}$

10. Panel 47, Figs. 1 y 2. La fem inducida *total* en la bobina, en cualquier instante, es $\mathcal{E} =$ ..... (en función de v, B, l y θ).
* * * * *

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ab} + \mathcal{E}_{cd} = Bvl$ sen $\theta + Bvl$ sen $\theta = 2Bvl$ sen θ

11. Panel 47, Figs. 1 y 2. La fem inducida total máxima ocurre cuando $\theta =$ .... grados y $\mathcal{E} =$ ..... (en función de B, v y l).
* * * * *

90°; $2Bvl$

12. Panel 47, Figs. 1 y 2. En la figura 1, *ab* está moviéndose hacia (arriba/abajo) a través del campo, mientras *cd* se mueve hacia (arriba/abajo). La corriente inducida en la espira por este movimiento, es de *d* a *c* a *b* a *a* alrededor de la espira. En la figura 2, *ab* y *cd* están moviéndose paralelamente al campo; en este instante (hay una/no hay) corriente inducida en la espira; al continuar girando la espira de la Fig. 2 en el sentido de las manecillas del reloj, como se indica, *ab* está moviéndose hacia (arriba/abajo) y *cd* hacia (arriba/abajo), y la corriente inducida (fluye de *d* a *c* a *b* a *a*/fluye de *a* a *b* a *c* a *d*/es cero).
* * * * *

arriba; abajo; no hay; abajo; arriba; fluye de *a* a *b* a *c* a *d*

13. Panel 47, Figs. 1 y 2. Cuando *ab* y *cd* invierten la dirección en que se mueven a través del campo, la corriente inducida en la bobina (invierte su dirección/continúa fluyendo en la misma dirección).
* * * * *

invierte su dirección

14. Panel 47. La Fig. 3 es una gráfica de la corriente inducida en la espira cuando gira 360°, comenzando en la posición que tiene en la figura 2. A esta corriente la llamamos *alterna,* porque cambia de .... cada ..... grados, es decir, cuando ha dado media vuelta.

* * * * *

dirección; 180

15. Panel 47, Figs. 2 y 3. Cuando la espira gira 180° a partir de su posición en la Fig. 2, fluye una corriente inducida alrededor de ella en la dirección *abcd.* La Fig. 3 muestra que esta corriente es máxima cuando *ab* y *cd* están moviéndose (perpendicularmente/paralelamente) al campo. Cuando la espira da la segunda mitad de su rotación, es decir, de 180° a 360°, la corriente fluye en ella en dirección (*abcd*/*dcba*). Por esta razón, la corriente en la espira se llama .....

* * * * *

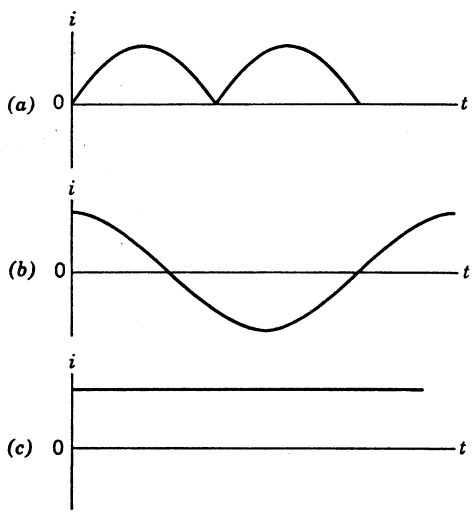
perpendicularmente; *dcba*; alterna

16. El dispositivo ilustrado en el Panel 47 es una forma elemental de generador eléctrico. El generador eléctrico es un dispositivo que transforma la energía mecánica (la rotación de la manivela) en energía .....

* * * * *

eléctrica

17. La corriente alterna cambia su magnitud y dirección a ciertos intervalos de tiempo. La corriente *directa* puede, o puede no cambiar su magnitud, pero *jamás* su dirección. *(a)* es una gráfica de corriente



(alterna/directa), *(b)* es una gráfica de corriente (alterna/directa), y *(c)* es una gráfica de corriente (alterna/directa).

* * * * *

directa (cambia de magnitud, pero no de dirección); alterna; directa

18. Veamos la figura del cuadro anterior. *(a)* representa una corriente directa *pulsante,* y *(c)* una corriente directa *constante.* La corriente en la espira de un generador eléctrico es (directa pulsante/directa constante/ alterna).

* * * * *

alterna

19. Una corriente que cambia de magnitud pero no de dirección se llama corriente directa .....; una que es constante en magnitud y dirección se llama corriente directa .....

* * * * *

pulsante; constante

20. Los generadores eléctricos comerciales tienen muchas espiras, en vez de la única que se muestra en el Panel 47. Si hay N espiras, la fem inducida se multiplicará por el factor N. Un generador con N espiras suministra una fem inducida $\mathcal{E}$ = ... (en función de B, v, l, θ y N).

* * * * *

$2NBvl$ sen θ

21. $\mathcal{E} = 2NBvl$ sen θ. Esta no es una ecuación fácil de aplicarse directamente en la práctica. Otra ecuación que es más conveniente es la que usa la frecuencia f de rotación en revoluciones por segundo; ésta es: $\mathcal{E} = 2\pi fNBA$ sen θ, donde A es el área limitada por la espira. Cuando θ = ... grados, esta ecuación se convierte en: $\mathcal{E}_{máx}$ = ...

* * * * *

90; $2\pi fNBA$

22. Vea el Panel 48. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

T

23 Panel 48. Lea el problema 1. Tenemos la ecuación: $\mathcal{E}_{máx} = 2\pi fNBA$. En este problema: f = 2400 revoluciones por minuto = ... revoluciones por segundo. A = ...m^2.

* * * * *

$$f = \frac{2400 \text{ rpm}}{60 \text{ seg/min}} = 40 \text{ rps}; \quad A = (0.10 \text{ m})(0.25 \text{ m}) = 0.025 \text{ m}^2$$

24. Panel 48, problema 1. Calcule la fem inducida máxima, en voltios.

* * * * *

$\mathcal{E}_{máx} = 2\pi fNBA = 2(3.14)(40)(50)(0.025)(2 \times 10^{-2}) = 6.28$ voltios.

25. Después regresaremos a los demás problemas del Panel 48. Por ahora vea el Panel 49; la letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

H

26. Panel 49. La Fig. 1 es un dibujo de un generador eléctrico. La energía ..... empleada en hacer girar la bobina a través de un campo ....., se transforma en energía ....., en la bobina. La corriente en la bobina es (alterna/directa).

* * * * *

mecánica; magnético; eléctrica; alterna

27. Panel 49, Fig. 1. Para usar la energía eléctrica producida en la bobina del generador se debe introducir algún mecanismo que permita que la corriente desarrollada en la bobina giratoria fluya en un circuito externo; este mecanismo consiste en un par de *anillos deslizantes de metal* unidos rígidamente a la misma flecha que sirve de eje a la bobina. Los anillos deslizantes tocan unas piezas de material *conductor* que se llaman escobillas y que no están unidas a la flecha giratoria, pero siempre en contacto con los anillos; éstos (giran/no giran) con la bobina; las escobillas (se mueven/no se mueven) con la flecha.

* * * * *

giran; no se mueven

28. Panel 49, Figs. 1 y 2. Puesto que los anillos y las escobillas (son/no son) conductores y (están/no están) siempre en contacto unos con otros, la corriente eléctrica inducida en la bobina giratoria (está/no está) siempre conectada al circuito externo.

* * * * *

son; están; está

29. Panel 49. El objeto de las escobillas es el de conectar a la bobina giratoria con el circuito .....; el objeto de los anillos es el de (conectar y desconectar/mantener siempre conectada) a la bobina giratoria con este circuito.

* * * * *

externo o exterior, etc.; mantener siempre conectada

30. El dispositivo anillo deslizante-escobilla proporciona el mecanismo por medio del cual [*(a)* la bobina y el circuito externo giran a la misma velocidad/*(b)* la bobina puede girar y el circuito externo permanecer fijo].

* * * * *

(b)

31. Panel 49. La corriente que fluye en el circuito externo (es/no es) exactamente igual a la inducida en la bobina giratoria; la corriente en el circuito externo es (alterna/directa constante/directa pulsante).

* * * * *

es; alterna

32. Frecuentemente se le llama *alternador* al generador que emplea anillos deslizantes y escobillas para transmitir la corriente inducida a un circuito externo. En el alternador, la corriente en la bobina giratoria (es/no es) alterna, y la corriente en el circuito externo (es/no es) alterna.

* * * * *

es; es

33. Algunas veces se emplea un dispositivo llamado *conmutador de anillo seccionado,* en vez del par de anillos deslizantes. El conmutador de anillo seccionado suministra al circuito externo corriente directa pulsante, mientras en la bobina se desarrolla corriente alterna. El generador que emplea el conmutador de anillo seccionado (es/no es) un alternador.

* * * * *

no es (porque no suministra corriente alterna al circuito externo).

34. El generador eléctrico que transmite la corriente de la bobina al circuito externo a través de un conmutador de anillo seccionado, suministra corriente (alterna/directa) al circuito; el generador que lo hace a través de anillos deslizantes, suministra corriente (alterna/directa) al circuito.

* * * * *

directa; alterna

35. Al generador eléctrico que usa un conmutador de anillo seccionado para suministrar corriente al circuito externo, a menudo se le llama generador de c-d. La corriente en la bobina giratoria de un generador de c-d es (alterna/directa), y la corriente en el circuito externo es (alterna/directa).

* * * * *

alterna; directa

36. El generador eléctrico que usa el dispositivo de anillo deslizante del Panel 49 para suministrar corriente a un circuito externo, se llama (generador de c-d/alternador); el que usa un conmutador de anillo seccionado para suministrar la corriente al circuito externo, se llama (generador de c-d/alternador).

* * * * *

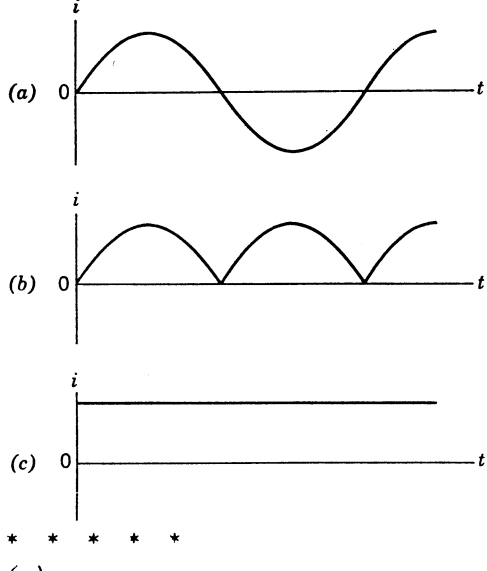
alternador; generador de c-d

37. Ya sea que se trate de un alternador o un generador de c-d, un generador eléctrico transforma la energía ..... en energía ..... Un motor eléctrico transforma la energía ..... en energía .....

* * * * *

mecánica; eléctrica; eléctrica; mecánica

38. ¿Cuál de estas gráficas describe la corriente en la bobina giratoria de un generador eléctrico?



* * * * *

(a)

39. La bobina de un generador eléctrico gira con una rapidez de f revoluciones por segundo en un campo B; hay N vueltas en la bobina y el área de la espira es A. Escriba una ecuación que relacione a la fem inducida máxima, $\mathcal{E}_{máx}$, con f, A, N y B.

* * * * *

$2\pi fNAB$

40. En el instante en que se mueve a un ángulo θ respecto al campo magnético, la fem inducida de la bobina descrita en el cuadro anterior es $\mathcal{E} =$ .....

* * * * *

$2\pi fNAB \text{ sen } \theta$

41. Panel 48. Lea el problema 2.

$f =$ ..... revoluciones por segundo.

$A =$ ..... m^2.

$N =$ ..... vueltas.

* * * * *

$$f = \frac{1800 \text{ rpm}}{60 \text{ seg/m}} = 30 \text{ rps}$$

$$A = \pi r^2 = \pi(0.05)^2 = 0.0025\pi \text{ m}^2$$

$$\mathcal{E}_{máx} = 2\pi fNAB$$

$$N = \frac{\mathcal{E}_{máx}}{2\pi fAB} = \frac{10}{2\pi(30)(0.0025\pi)(5 \times 10^{-1})} \approx 14$$

Sección 5. El transformador; la bobina de inducción; el betatrón

1. Veamos el Panel 50. La letra que está en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

T

2. Panel 50. La Fig. 1 es una bobina enrollada a una barra de hierro que *no está* imantada; los extremos de la bobina están conectados a un interruptor S y a una batería A. Cuando se cierra el interruptor, hay una ..... en la bobina y un ..... magnético en el hierro.

* * * * *

corriente; flujo *o* campo

3. Panel 50. La Fig. 2 es una gráfica de la corriente en la bobina en función del tiempo. Cuando se cierra el interruptor en el instante t_1, la corriente [*(a)* alcanza su valor máximo instantáneamente/*(b)* alcanza su valor máximo gradualmente].

* * * * *

(b)

4. Panel 50, Figs. 1 y 2. El intervalo de tiempo de t_1 a t_2 es una fracción de segundo muy pequeña; durante este tiempo, la corriente en la bobina (aumenta/disminuye/permanece constante), y el flujo magnético en el núcleo de hierro (aumenta/disminuye/permanece constante).

* * * * *

aumenta; aumenta

5. Panel 50, Figs. 1 y 2. Entre los tiempos t_2 y t_3, la corriente en la bobina (aumenta/disminuye/es constante), y el flujo magnético en el núcleo de hierro (aumenta/disminuye/es constante). En el instante t_3 se abre el interruptor. En el intervalo entre t_3 y t_4, el flujo magnético en el núcleo de hierro (aumenta/disminuye/es constante).

* * * * *

es constante; es constante; disminuye (porque la corriente está disminuyendo).

6. Panel 50. En la Fig. 3 se ha colocado una espira de alambre alrededor de la bobina, pero *sin* conectarla a la bobina, al núcleo o a la batería. Se inducirá una fem en esta espira, sólo cuando el flujo magnético en el núcleo sea (constante/cambiante).

* * * * *

cambiante

7. Panel 50, Figs. 2 y 3. Se inducirá una fem en la espira que está alrededor de la bobina y el núcleo de hierro, durante los intervalos (t_1 a t_2/t_2 a t_3/t_3 a t_4).

* * * * *

t_1 a t_2 y t_3 a t_4

8. Panel 50, Figs. 2 y 3. Hay una fem inducida en la espira [*(a)* cuando el interruptor está cerrado/*(b)* durante un instante, inmediatamente después de que se cierra o se abre el interruptor]. No hay fem en la espira cuando la corriente en la bobina es (constante/variable).

* * * * *

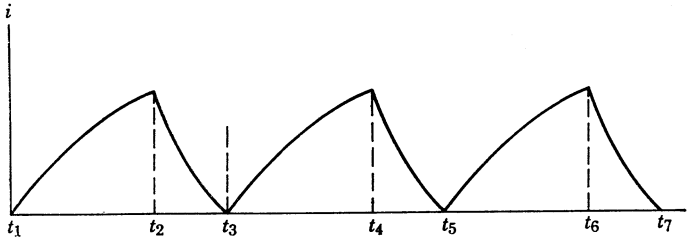
(b); constante

9. Panel 50, Fig. 3. Podemos mantener una fem inducida en la espira, si contamos con un dispositivo que periódicamente abra y cierre el interruptor; tal dispositivo suele tener diversos nombres como *disyuntor, vibrador,* etc. Cuando la corriente en la bobina alcanza su valor máximo en t_2, el vibrador (cerrará/abrirá) el circuito.

* * * * *

abrirá

10. Para mantener una fem inducida en la espira de la Fig. 3, Panel 50, el vibrador debe abrir el circuito en los instantes .....



(use los símbolos de la figura de este cuadro), y cerrarlo en los instantes .....

* * * * *

t_2, t_4, t_6; t_1, t_3, t_5, t_7

11. Panel 50. En la Fig. 4 hay dos bobinas independientes enrolladas en un núcleo de hierro. Sólo la bobina (primaria/secundaria) está conectada a la batería y al interruptor.

* * * * *

primaria

12. Panel 50, Fig. 4. El objeto del vibrador es mantener una corriente (constante/variable) en la bobina primaria; como resultado de ello, hay un flujo magnético (constante/variable) en el núcleo de hierro, con lo cual se produce una fem *inducida* en las espiras de la bobina ....

* * * * *

variable; variable; secundaria

13. Panel 50, Fig. 4. El cambio de flujo magnético en el núcleo, depende de la rapidez con que aumente o disminuya la corriente en la bobina ..... al cerrarse o abrirse el circuito; conforme esto sucede, se induce una fem (llamémosla $\mathcal{E}$) en cada una de las espiras de la

bobina ....., en tal forma que si hay N espiras, la diferencia de potencial entre T_1 y T_2 será: ..... (use N y $\mathcal{E}$).

* * * * *

primaria; secundaria; $N\mathcal{E}$

14. Panel 50, Fig. 4. Hay una relación matemática sencilla que nos permite encontrar la diferencia de potencial V_s inducida en los extremos de la bobina secundaria. El cociente de esta diferencia de potencial a la diferencia de potencial V_p en los extremos de la bobina primaria, es igual al cociente del número N_s de vueltas de alambre en la bobina secundaria al número N_p de vueltas en la primaria. Expresado en símbolos:

$$\frac{V_s}{V_p} = \ldots\ldots$$

* * * * *

$$\frac{N_s}{N_p}$$

15. Panel 50, Fig. 4. La diferencia de potencial en los extremos de la bobina primaria es el voltaje de las terminales de la ..... que suministra la corriente. La diferencia de potencial en los extremos de la bobina secundaria, es la ..... de las fem inducidas en cada una de sus espiras.

* * * * *

batería; suma

16. Panel 50, Fig. 4. Generalmente N_p es mucho más pequeño que N_s; esto significa que una diferencia de potencial baja (aproximadamente 6 a 12 voltios), en la bobina primaria, produce una diferencia de potencial (más alta/más baja) en la secundaria.

* * * * *

más alta

17. Panel 50, Fig. 4. Sean $N_p = 10$ vueltas y $N_s = 1000$ vueltas; si la batería suministra 6 voltios, al primario, la diferencia de potencial entre T_1 y T_2 será de ..... volts.

* * * * *

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} = (6 \text{ voltios})\,(1000/10) = 600 \text{ voltios}$$

18. Panel 50, Fig. 4. Este dispositivo se llama *bobina de inducción*; en él, se usa la ..... electromagnética para suministrar una (baja/alta) diferencia de potencial al secundario, cuando se suministra una baja diferencia de potencial al primario. Para lograr esto, es necesario que el número de vueltas en el secundario sea (mayor que el/menor que el/igual al) número de vueltas en el primario.

* * * * *

inducción; alta; mayor que el

19. Panel 50, Fig. 4. Cuando el potencial inducido entre T_1 y T_2 es suficientemente grande, el aire que hay en el claro entre estas terminales se vuelve conductor, y brinca una *chispa* a través de este claro, razón por la que algunas veces se le llama bobina de chispas, a una ..... de .....

* * * * *

bobina (de) inducción

20. Panel 50, Fig. 4. La diferencia de potencial requerida para que se produzca una chispa entre T_1 y T_2 depende de diversos factores, entre ellos la humedad, la distancia entre T_1 y T_2, etc. Suponga que ocurre una chispa cuando la diferencia de potencial entre T_1 y T_2 es de 5000 voltios; si V_p es 12 voltios y $N_p = 100$ vueltas, $N_s =$ ..... vueltas.

* * * * *

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$N_s = \frac{V_s}{V_p} N_p = \frac{5000}{12} (100) \approx 41{,}667$$

21. Las chispas que producen las bobinas de inducción son especialmente útiles en los sistemas de ignición de los automóviles (vea la Fig. 5 del Panel 50). La chispa ocurre cuando la ..... de ..... inducida en el claro del secundario es suficientemente (baja/alta) para hacer que el aire en el claro se vuelva ..... de la electricidad.

* * * * *

diferencia (de) potencial, o potencial eléctrico; alta; conductor

22. Vea el Panel 51. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

J

23. Panel 51. La Fig. 1 muestra un dispositivo llamado .....; difiere de la bobina de inducción debido al hecho de que la batería y el vibrador conectados al primario se han reemplazado con una fuente de fem llamada ....., que es un ..... eléctrico que suministra corriente (directa/alterna) a un circuito externo.

* * * * *

transformador; alternador; generador; alterna

24. Panel 51, Fig. 1.El objeto de la combinación batería-interruptor en una bobina de inducción fue el de suministrar un flujo magnético (constante/cambiante) en el núcleo de hierro. Una corriente alterna es aquella que (cambia/no cambia) en magnitud y dirección.

* * * * *

cambiante; cambia

25. Panel 51, Fig. 1. El alternador que alimenta a un ..... tiene la misma función que la combinación batería-interruptor en una bobina de inducción.

* * * * *

transformador

26. Panel 51, Fig. 1. El alternador que alimenta a un transformador proporcional el .... cambiante en el núcleo de hierro, el cual, a su vez, induce una fem en la bobina (primaria/secundaria).

* * * * *

flujo magnético; secundaria

27. Panel 51, Fig. 1. En un transformador, la bobina secundaria se conecta a algún circuito externo, para suministrarle corriente. La bobina secundaria (está/no está) conectada a las terminales del alternador; su fem es la que produce el flujo magnético cambiante del ..... de .....

* * * * *

no está; núcleo (de) hierro

28. Panel 51, Fig. 1. La corriente en el primario de un transformador es (directa/alterna); la corriente inducida en la bobina secundaria es (directa/alterna). Explique.

* * * * *

alterna; alterna (porque es inducida por un flujo magnético que cambia en la misma forma en que lo hace la corriente en el primario).

29. Panel 51, Fig. 1. La relación entre N_s, V_s, N_p y V_p para un transformador, es idéntica a la de una bobina de inducción. Si un alternador suministra 100 voltios a un primario con 50 vueltas de alambre, calcule la diferencia de potencial en una bobina secundaria de 1000 vueltas.

* * * * *

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} = (100)\left(\frac{1000}{50}\right) = 200 \text{ voltios}$$

30. La bobina primaria/secundaria) de una bobina de inducción o de un transformador, es la que se conecta a una fuente de fem, como bateria o generador; la bobina (primaria/secundaria) es aquella en la que se ..... una fem, mediante el .... cambiante en el ..... de .....

* * * * *

primaria; secundaria; induce; flujo magnético; núcleo (de) hierro

31. El objeto de una *bobina de inducción* es producir en la bobina secundaria un potencial mayor que el de la primaria. El número de vueltas en el primario de una bobina de inducción (siempre/algunas veces/ nunca) es mayor que el número de vueltas en el secundario.

* * * * *

nunca

32. El transformador se usa algunas veces para producir en la bobina secundaria un potencial mayor que el que se suministra a la primaria; este tipo se conoce como transformador *elevador*. En un transformador elevador, N_p es (mayor que/menor que/igual a) N_s.

* * * * *

menor que

33. Se construyen también transformadores que suministran en el secundario un potencial menor que el que se aplica al primario; éste es el transformador *reductor*. El transformador de la Fig. 1, Panel 51, es (elevador/reductor). Explique.

* * * * *

elevador (porque hay más vueltas en el secundario que en el primario).

34. El primario de un transformador tiene 2000 vueltas y se alimenta con 500 voltios; su secundario tiene 100 vueltas y suministra un potencial de ..... voltios; éste es un transformador (elevador/reductor).

* * * * *

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} = (500)\left(\frac{100}{2000}\right) = 25 \text{ voltios}$$

reductor

35. Cuando un transformador suministra un V_s mayor que V_p, se llama transformador ....., y cuando suministra un V_s menor que V_p, es un transformador .....

* * * * *

elevador; reductor

36. En la sección 5 del capítulo 3 vimos que la potencia que se suministra a un elemento en un circuito eléctrico con una diferencia de potencial V y una corriente i, es $P =$ .....

* * * * *

iV

37. Cuando esta potencia se usa durante un tiempo t, la energía empleada es $W =$ ..... *(en función de i, V y t).*

* * * * *

$P = \frac{W}{t}$; $W = Pt$; $W = iVt$

38. Sea i_p la corriente en el primario de un transformador; la diferencia de potencial es V_p. La energía suministrada por el alternador al primario, en un tiempo t, es $W_p =$ .....

* * * * *

$i_p V_p t$

39. (1) $W_p = i_p V_p t$. (2) Sean V_s e i_s las cantidades correspondientes en la bobina secundaria. La energía suministrada al secundario en un tiempo t es $W_s =$ ..... (3) De acuerdo con la ley de la conservación de la energía, $W_p = W_s$, o sea que $i_p V_p =$ .....

* * * * *

$i_s V_s t$;

$i_p V_p \cancel{t} = i_s V_s \cancel{t}$

$i_p V_p = i_s V_s$

40. En un transformador, (1) $i_p V_p = i_s V_s$, o sea que: $\frac{i_p}{i_s} =$ ..... *(en función de* V_p y V_s*).* (2) Puesto que: $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$; $\frac{i_p}{i_s} =$ ..... *(en función de* N_p y N_s*).*

* * * * *

$\frac{V_s}{V_p}; \frac{N_s}{N_p}$

41. Para un transformador:

(1) $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$ (2) $\frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s}$ (3) $\frac{i_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p}$

(1) indica que la diferencia de potencial en el secundario, varía (directamente/inversamente) con su número de vueltas. (2) indica que la corriente y el potencial en el secundario, son (directamente/inversamente) proporcionales. (3) indica que la corriente y el número de vueltas en el secundario, son (directamente/inversamente) proporcionales entre sí.

* * * * *

directamente; inversamente; inversamente

42. En un transformador elevador:

$N_s(>/=/<)N_p$, $V_s(>/=/<)V_p$, $i_s(>/=/<)i_p$

y la energía suministrada al secundario en cualquier intervalo de tiempo dado (es mayor/nunca es mayor) que la energía suministrada al primario, durante el mismo intervalo.

* * * * *

$>$; $>$; $<$; nunca es mayor

43. Panel 48. Lea el problema 3. Se trata de un transformador (elevador/reductor). Para la parte *(a)*, $N_p =$ ..... vueltas; $V_p =$ ..... voltios; $V_s =$ ..... voltios; $N_s =$ ..... vueltas.

* * * * *

reductor; 600; 120; 5

$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$

$N_s = N_p \frac{V_s}{V_p} = (600)\left(\frac{5}{120}\right) = 25$

44. Panel 48, problema 3. Para la parte *(b)*: $V_s =$ ..... voltios; $V_p =$ ..... voltios; $i_s =$ ..... amp; $i_p =$ ..... amp.

* * * * *

5; 120; 2.8;

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s};\ i_p = i_s \frac{V_s}{V_p} = (2.8)\left(\frac{5}{120}\right) \approx \mathbf{0.12}\ \textbf{amperios}$$

45. Panel 51. La Fig. 2 muestra un transformador cuya bobina .... consiste de una sola espira de alambre cerrada. A medida que la corriente en el primario aumenta de cero al máximo en una dirección, los electrones de conducción se mueven alrededor de la espira con una rapidez que (va aumentando/va disminuyendo/permanece constante) cuando la corriente en el primario va en aumento.

* * * * *

secundaria; va aumentando

46. Panel 51, Fig. 2. Si el primario tiene muchas vueltas y el secundario es un trozo de alambre de cobre tan grueso que su resistencia eléctrica sea (alta/baja), la corriente eléctrica en el secundario será mucho (mayor/menor) que la corriente en el primario, porque la corriente en el secundario es (directamente/inversamente) proporcional al número de vueltas.

* * * * *

baja; mayor; inversamente

47. Panel 51, Fig. 2. Se observa la energía suministrada a esta espira secundaria como energía que llamamos ....., y que es el resultado de los choques entre los ..... de ..... y la malla del conductor sólido.

* * * * *

calorífica, calor; electrones (de) conducción

48. Panel 51, Fig. 2. Podríamos usar toda la energía suministrada por el transformador al secundario para aumentar la energía ..... de los electrones de conducción, si no hubiera la ..... que interacciona con ellos.

* * * * *

cinética; malla

49. Panel 51. La Fig. 3 es un dibujo esquemático de un betatrón, que consiste de un tubo de vidrio, hueco, en forma de dona y del cual se ha extraído el aire. Cuando se introducen electrones en el tubo, éste se vuelve ..... de carga eléctrica. Puesto que no hay malla dentro del tubo, estos electrones encuentran una (mayor/menor) resistencia eléctrica de la que encuentran en la espira de cobre de la Fig. 2.

* * * * *

conductor; menor

50. Panel 51, Fig. 3. Cuando se aplica una corriente alterna a las bobinas devanadas (enrolladas) en el gran núcleo de hierro, hay un cambio de .... en el claro del núcleo, produciendo esto una fem inducida en la dona, que hace que se muevan los ..... dentro de ella.

* * * * *

flujo magnético; electrones

51. Panel 51, Fig. 3. El movimiento de electrones en la dona constituye una ..... eléctrica inducida, por lo que podemos decir que el betatrón es un tipo de transformador (elevador/reductor).

* * * * *

corriente; reductor

52. Panel 51, Fig. 3. La energía que el betatrón suministra a los electrones en la rosca, aumenta su ..... y, en consecuencia, su energía .....

* * * * *

rapidez; cinética

53. Panel 51. Fig. 3. El anillo de imanes alrededor de la dona, sirve para mantener a los ..... en una trayectoria circular; estos imanes (aumentan/no aumentan) la energía cinética de los electrones en la rosca. El objeto del núcleo central de hierro es proporcionar un .... cambiante que (aumente/no aumente) la energía cinética de los electrones.

* * * * *

electrones; no aumentan; flujo magnético; aumente

54. El ..... es un transformador cuya bobina, devanada alrededor del núcleo de hierro y conectada a una fuente externa de corriente alterna, constituye el (primario/secundario), y los electrones en la dona, constituyen el (primario/secundario). Su objeto es aumentar la .... de los electrones en la dona; es capaz de hacer esto porque se ha hecho el vacío en la rosca y se pierde poca energía en forma de ....., puesto que no hay malla que interaccione con los electrones, tal como sucede con un conductor metálico.

* * * * *

betatrón; primario; secundario; energía cinética; calor

55. Panel 48. Lea el problema 4. La fem inducida en la dona es el ..... realizado por las fuerzas eléctricas sobre un electrón en un recorrido alrededor de la dona.

* * * * *

trabajo

56. Panel 48, problema 4. Sea W el trabajo realizado por las fuerzas eléctricas sobre un electrón cuya carga la representamos con q. La fem inducida es $\mathcal{E} =$ ..... *(en función de* W y q*).*

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q}$$

57. Panel 48, problema 4.

(1) $\mathcal{E} = \dfrac{W}{q}$, entonces $W =$ .....

(2) Si el electrón de N vueltas alrededor de la rosca en $\frac{1}{250}$ de seg, la energía total transformada en eso, en este tiempo, es $W_t =$ ..... *(en función de* $\mathcal{E}$, q y N*).*

* * * * *

$\mathcal{E}q$; $N\mathcal{E}q$.

58. Panel 48, problema 4. El electrón se mueve con una rapidez de 2.8×10^8 m/seg durante $\frac{1}{250}$ de seg. ¿Qué distancia recorre en ese tiempo?

* * * * *

distancia = rapidez × tiempo

distancia = 2.8×10^8 m/seg × $\frac{1}{250}$ seg = 1.12×10^6 m

59. Panel 48, problema 4. Cada vez que el electrón da una vuelta alrededor de la rosca, recorre una distancia de ..... m.

* * * * *

circunferencia = 2π (radio) = $2(3.14)(0.5) = 3.14$ m

60. Panel 48, problema 4. En $\frac{1}{250}$ seg el electrón recorre 1.12×10^6 m. Una vuelta alrededor de la rosca mide 3.14 m. El número de vueltas que da el electrón en la rosca, en $\frac{1}{250}$ seg, es $N =$ ..... *(número).*

* * * * *

$$N = \frac{1.12 \times 10^6}{3.14} = 3.56 \times 10^5$$

61. Panel 48, problema 4. Hemos visto que la fem inducida, resultado de un cambio de flujo magnético $\Delta\phi$, en un tiempo Δt, es $\mathcal{E} =$ ..... *(en función de* Δt y $\Delta\phi$*).* En este problema, $\mathcal{E} =$ ..... voltios.

* * * * *

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t};\ \mathcal{E} = \frac{25 \text{ newton-m/amp}}{1 \text{ seg}} = 25 \text{ voltios}$$

62. Panel 48, problema 4.

(1) $W_t = N\mathcal{E}q$

(2) $N =$ ..... *(número)* vueltas alrededor de la rosca

$\mathcal{E} =$ ..... voltios

$q =$ ..... culombio

(3) $W_t =$ ..... julio.

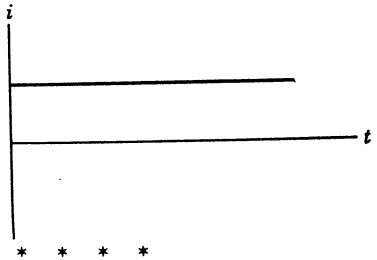
* * * * *

$N = 3.56 \times 10^5$; $\mathcal{E} = 25$ voltios; $q = 1.6 \times 10^{-19}$ cul;

$W_t = N\mathcal{E}q = (3.56 \times 10^5)(25)(1.6 \times 10^{-19}) = 1.42 \times 10^{-12}$ julio

Sección 6. Circuitos de C-A con bobinas y condensadores Reactancia inductiva y reactancia capacitiva Impedancia y Ley de Ohm para circuitos de C-A

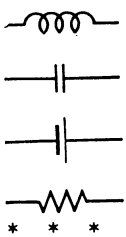
1. En el capítulo 3 estudiamos la corriente eléctrica y la resistencia eléctrica en aquellos casos cuyas gráficas corriente-tiempo son similares a la que se ilustra aquí; se trató de corrientes (alternas/directas estables/directas pulsantes).



* * * * *

directas estables

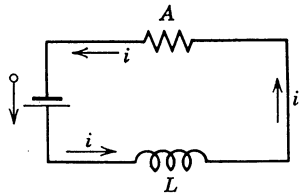
2. En nuestro estudio de las corrientes directas estables consideramos sólo aquellos elementos de un circuito que transforman la energía eléctrica en calor; tales elementos se llaman ....., y se representan con $(a/b/c/d)$.



* * * * *

resistencias; *(d)*

3. Empleamos el símbolo —ᔓᔓᔓ— para representar a una bobina de alambre. Cuando fluye una corriente directa estable en este circuito, en el elemento *A* se desarrolla una clase de energía llamada .....

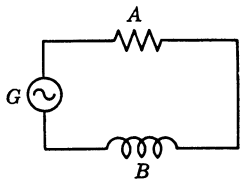


Dentro de y alrededor de *L* (no hay campo magnético/hay un campo magnético variable/hay un campo magnético constante).

* * * * *

calor; hay un campo magnético constante

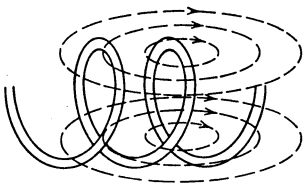
4. *G* representa una fuente de fem que suministra corriente alterna al circuito; en este caso, el campo magnético desarrollado dentro de y alrededor de *B* es (constante/variable).



* * * * *

variable

5. En un *circuito de corriente alterna,* una bobina de alambre presenta una interesante aplicación de la ley de Lenz, a saber: el campo magnético variable alrededor de cualquiera espira de la bobina, induce por sí mismo una corriente en las espiras adyacentes. Conforme a la ley de

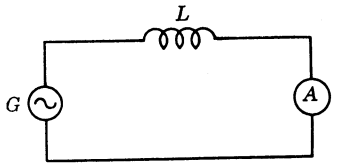


Lenz, esta corriente *autoinducida* (se opone/refuerza) a la corriente alterna que la produce

* * * * *

se opone

6. Sean I la corriente suministrada por el alternador G de este circuito, e i la corriente *autoinducida* en L. La corriente que mide realmente el amperímetro A es $(I + i/I - i)$.



* * * * *

$I - i$

7. La corriente inducida en una bobina por la que está fluyendo una corriente alterna, es un ejemplo de inducción electromagnética llamada .....*inducción,* que puede inferirse de la ley de (Ohm/Lenz/Coulomb).

* * * * *

auto; Lenz

8. Usaremos las abreviaciones c-a y c-d para "corriente alterna" y "corriente directa" respectivamente. La autoinducción se presenta cuando hay una ..... en un circuito de (c-a/c-d estable).

* * * * *

bobina; c-a

9. Cuando hay una bobina en un circuito de c-a y los demás elementos de este circuito son iguales a los de un segundo circuito de c-a en el que no hay ninguna bobina, la corriente en el primero es (mayor que/menor que/igual a) la corriente en el segundo.

* * * * *

menor que

10. Cuando hay una bobina en un circuito de c-d estable y los demás elementos de este circuito son iguales a los de un segundo circuito de c-d en el que no hay ninguna bobina, la corriente en el primero es (mayor que/menor que/igual a) la corriente en el segundo, porque en un circuito de c-d estable (hay/no hay) autoinducción en una bobina.

* * * * *

igual a; no hay

11. En sus efectos externos, una bobina en un circuito de c-a reduce la corriente y (aumenta/disminuye) la resistencia del circuito.

* * * * *

aumenta

12. Una bobina en un circuito de c-a tiene el efecto externo de aumental la resistencia de tal circuito, puesto que tiende a (aumentar/disminuir) la corriente que fluye en él. La observación indica que *no* aumenta el calor desarrollado en el circuito y, a este respecto (se asemeja/no se asemeja) a una resistencia ordinaria.

* * * * *

disminuir; no se asemeja

13. Por esta razón llamamos *reactancia,* en vez de resistencia, a la resistencia eléctrica adicional atribuible a una bobina en un circuito de c-a. Específicamente, la reactancia de una *bobina* en un circuito de c-a se llama *reactancia inductiva.* Se observa que la energía eléctrica empleada en vencer la reactancia inductiva (es/no es) calor.

* * * * *

no es

14. La energía eléctrica empleada en vencer a la reactancia inductiva deberá manifestarse en alguna otra forma de energía que no sea calor. (¡Medite! ¿Qué es lo que asociamos con una bobina en un circuito de c-a, y que no relacionamos con una resistencia ordinaria?) La bobina es un .... variable.

* * * * *

campo magnético

15. La energía eléctrica empleada en vencer a la reactancia inductiva se almacena en forma de energía ..... en el campo magnético alrededor de la bobina.

* * * * *

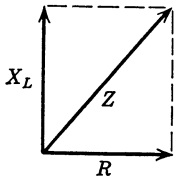
potencial

16. La reactancia inductiva se mide en ohmios, porque exhibe el efecto externo de una ..... eléctrica, puesto que ocasiona una disminución de ..... eléctrica en el circuito.

* * * * *

resistencia; corriente

17. Puesto que la reactancia inductiva, que denotaremos por X_L, es el resultado de un mecanismo físico diferente de la resistencia ordinaria (R), no podemos combinar X_L y R directamente por simple suma; las



sumaremos como si fueran cantidades vectoriales actuando una perpendicular a la otra. Por lo tanto, la suma de X_L y R es $Z =$ .....

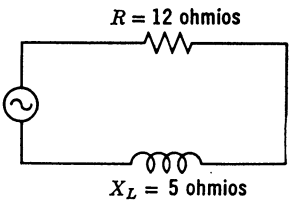
* * * * *

Usando el teorema de Pitágoras en el triángulo:

$Z^2 = X_L^2 + R^2$

$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$

18. Esta suma pitagórica de X_L, que representa la ...., y R, en un circuito de c-a que contiene una bobina, se llama *impedancia* del circuito, y se representa usualmente con Z. En este circuito, $Z =$ ..... ohmios.



* * * * *

reactancia inductiva;

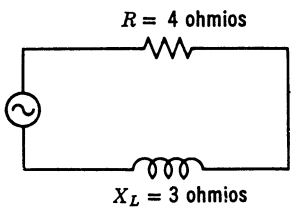
$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{12^2 + 5^2} = \sqrt{144 + 25} = \sqrt{169} = 13$ ohmios

19. La suma pitagórica de la reactancia y la resistencia, en un circuito de c-a, se llama ..... del circuito.

* * * * *

impedancia

20. La ..... de este circuito es de 3 ohmios; la ..... del mismo es de 5 ohmios, y la ..... es de 4 ohmios.



* * * * *

reactancia (inductiva); inpedancia; resistencia

21. El *condensador* es un dispositivo eléctrico que consiste de dos conductores separados por un aislador. Dos placas metálicas separadas por un vidrio (constituyen/no constituyen) un condensador; dos placas de vidrio separadas por una placa de cobre (constituyen/no constituyen) un condensador.

* * * * *

constituyen; no constituyen

22. Se emplea el símbolo —||— para representar a un condensador como elemento de un circuito; las líneas verticales representan los dos ...., y el claro entre ellas representa el ..... que los separa.

* * * * *

conductores; aislador

23. Veamos el Panel 52. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

Q

24. Panel 52. La Fig. 1 muestra un condensador conectado a un circuito de c-d al que una batería suministra corriente directa estable. En la Fig. 2 se ve el interruptor *S* recién cerrado, con la corriente fluyendo en la dirección indicada, durante una fracción de segundo; durante este tiempo la placa P_1 del condensador se carga (negativamente/positivamente), y la P_2 (negativamente/positivamente).

* * * * *

positivamente; negativamente

25. Panel 52, Fig. 3. Las cargas en P_1 y P_2 son tales que el condensador tiene un potencial eléctrico igual y opuesto al suministrado por la batería; esto significa que la corriente (continúa fluyendo/cesa de fluir) en el circuito.

* * * * *

cesa de fluir

26. Cuando se coloca un condensador en un circuito de c-d, fluye corriente en éste mientras las *placas* del condensador se estén cargando; éste es un lapso de tiempo (infinitamente largo/muy corto). Entonces,

para todos los fines *prácticos,* un condensador en un circuito de c-d (impide/no impide) el flujo de corriente.

* * * * *

muy corto; impide

27. Un condensador en un circuito de c-d tiene el efecto práctico de un (conductor/aislador) en el circuito.

* * * * *

aislador

28. Panel 52. Fig. 4 muestra un condensador conectado a las terminales de un alternador. Es característico de tal circuito, el que la dirección de la ..... se invierta periódicamente, probablemente cada 1/120 de segundo.

* * * * *

corriente

29. Panel 52. Recuerde que la dirección del flujo de electrones es opuesta a la del flujo de corriente eléctrica. En la Fig. 4, los electrones están (acercándose a/alejándose de) P_1, y (acercándose a/alejándose de) P_2.

* * * * *

alejándose de; acercándose a

30. Panel 52. La Fig. 5 muestra lo que está sucediendo 1/120 de seg después, cuando la corriente suministrada por el alternador se ha invertido; ahora los electrones se (acercan a/alejan de) P_1, y se (acercan a/alejan de) P_2.

* * * * *

acercan a; alejan de

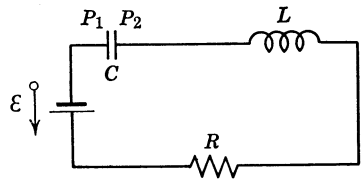
31. Panel 52. En la Fig. 6, que es 1/120 de segundo después, los electrones han invertido nuevamente la dirección en que fluyen. Mientras los electrones continúen moviéndose en una y otra dirección (habrá/no habrá) corriente en el circuito. Un condensador en un circuito de (c-a/c-d estable) impide un flujo continuo de corriente; un condensador en un circuito de (c-a/c-d estable) no impide el flujo continuo de corriente.

* * * * *

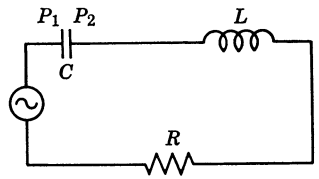
habrá; c-d estable; c-a

32. La corriente fluirá indefinidamente en [*(a)/(b)*] a pesar de que invierta su dirección periódicamente; la corriente fluirá en [*(a)/(b)*]

solamente durante una fracción de segundo, cuando las placas de *C* están cargándose.



(a)



(b)

* * * * *

(b); (a)

33. Un condensador en un circuito de c-a no impide el flujo de corriente, aunque su presencia no deja de tener complicaciones en el circuito. Con una resistencia ordinaria, toda la energía eléctrica suministrada por el circuito se transforma en energía ..... Parte de la energía suministrada a un circuito que contenga un condensador se emplea en cargar sus placas; esto quiere decir que en un circuito de c-a, cierta cantidad de energía se emplea siempre en crear un campo (magnético/eléctrico) entre las placas, lo que conduce a una disminución de corriente en el circuito, y (un aumento/una disminución) aparente de la resistencia eléctrica total del circuito.

* * * * *

calorífica; eléctrico; un aumento

34. Al igual que la "resistencia" que introduce en un circuito de c-a una bobina, esta "resistencia" introducida por la inserción de un condensador en el circuito de c-a, es (similar/diferente) a la resistencia eléctrica ordinaria, puesto que su efecto externo es la producción incesante de campos eléctricos, y no de calor.

* * * * *

diferente

35. A este efecto que produce un condensador en la corriente de un circuito de c-a, se le llama su *reactancia capacitiva,* y, al igual que la

reactancia ..... de una bobina en un circuito de c-a, se mide en unidades llamadas ..... y se suma a la resistencia ordinaria del circuito con la ayuda del teorema de .....

* * * * *

inductiva; ohmios; Pitágoras

36. Usaremos X_c para representar a la reactancia ..... de un ....., en la misma forma en que usamos X_L para representar a la reactancia ..... de una ....., cuando estos dispositivos son elementos de un circuito de c-a.

* * * * *

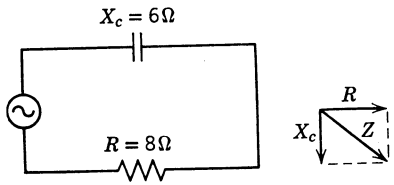
capacitiva; condensador; inductiva; bobina

37. La energía empleada en vencer a la reactancia capacitiva de un condensador se transforma en la creación incesante de campos .... entre las placas del condensador; la energía absorbida por la reactancia inductiva de una bobina, se emplea en la creación incesante de campos ..... dentro de y alrededor de la bobina.

* * * * *

eléctricos; magnéticos

38. La impedancia de este circuito es $Z =$ ..... *(en función de* R y X_c*).* $Z =$ ..... ohmios.

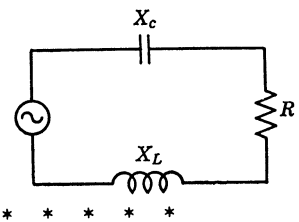


* * * * *

$Z = \sqrt{X_c^2 + R^2}$

$Z = \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10$ ohmios.

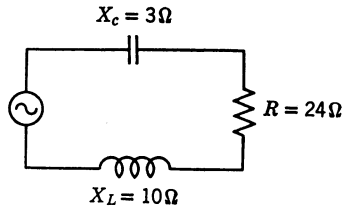
39. Las reactancias capacitiva e inductiva de un circuito se combinan como si actuaran en direcciones opuestas. El efecto combinado de X_c y X_L es su (suma/diferencia/cociente/producto) aritmético(a).



* * * * *

diferencia

40. La reactancia combinada en este circuito es de ..... ohmios. Podemos calcular la impedancia Z de este circuito, con la ecuación: $Z = \sqrt{(X_L - X_c)^2 + R^2}$. $Z =$ ..... ohmios.



* * * * *

$X_L - X_c = 10 - 3 = 7$ ohmios

$Z = \sqrt{(X_L - X_c)^2 + R^2} = \sqrt{7^2 + 24^2} = \sqrt{49 + 576} =$

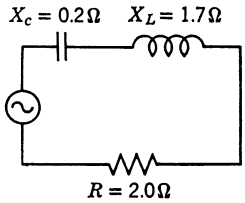
$= \sqrt{625} = 25$ ohmios

41. Puesto que los circuitos de c-a que contienen condensadores y bobinas presentan tanto reactancia como resistencia ordinaria, remplazamos R en la ley de Ohm, por Z. Calcule la corriente máxima en el circuito del cuadro anterior, si el potencial máximo en las terminales del generador es de 50 voltios.

* * * * *

$$i = \frac{V}{Z} = 50 \text{ voltios}/25 \text{ ohmios} = 2 \text{ amp.}$$

42. Este alternador suministra en sus terminales una diferencia de potencial máxima de 12 voltios. Calcule la corriente máxima en el circuito.



* * * * *

$$i = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{(X_L - V_C)^2 + R^2}} = \frac{120}{\sqrt{(1.7 - 0.2)^2 + (2.0)^2}}$$

$$= \frac{120}{\sqrt{1.5^2 + 2.0^2}} = \frac{120}{2.5} = 48 \text{ amp}$$

Sección 7. Ondas electromagnéticas

1. En la sección 3 de este capítulo vimos que las corrientes inducidas en las bobinas (vea el Panel 46) son producto de .....s en el flujo magnético.

* * * * *

cambios

2. Vimos que la corriente eléctrica inducida en una espira de alambre cercana a un campo magnético cambiante, podría explicarse por la acción de campos ..... irradiados por el flujo magnético cambiante, en la misma forma en que los conductores con corriente eléctrica irradian campos .....

* * * * *

eléctricos; magnéticos

3. Podemos expresar estas conclusiones como sigue: Los campos magnéticos en movimiento, generan campos ..... dentro de la región en que se están moviendo, y los campos eléctricos en movimiento, generan campos ..... dentro de la región en que se están moviendo.

* * * * *

eléctricos; magnéticos

4. Veamos el Panel 53. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

A

5. Panel 53. En la Fig. 1 vemos un paquete de campo magnético, representado por las líneas de trazos, que está moviéndose hacia la derecha a través de un volumen de espacio con una sección de área K. Este paquete móvil de campo magnético constituye un ..... magnético cambiante a través de cualquier región del espacio por el que pase.

* * * * *

flujo

6. Panel 53. En la Fig. 1, el m..... del campo magnético $\vec{B}$ genera un campo eléctrico $\vec{E}$ (paralelo/perpendicular) a $\vec{B}$ y (paralelo/

perpendicular) a la dirección en que se mueven ambos campos como un solo paquete.
* * * * *

movimiento; perpendicular; perpendicular

7. Panel 53. En la Fig. 2, el mismo paquete de campo continúa moviéndose en la misma dirección. Aquí mostramos el campo eléctrico $\vec{E}$ generado en la Fig. 1, con líneas de trazos. El movimiento de este campo eléctrico constituye, en cualquier región del espacio a través del cual se mueve el paquete, un campo eléctrico (constante/variable) que a su vez genera un nuevo campo (eléctrico/magnético).
* * * * *

variable; magnético

8. Panel 53. Al moverse este paquete dentro de cada nueva región del espacio que recorre, el campo magnético variable genera un campo (eléctrico/magnético) en esa región; el campo eléctrico móvil regenera al campo ..... móvil. Estos campos siempre son (paralelos/perpendiculares) entre sí, y ambos son siempre (paralelos/perpendiculares) al movimiento del paquete.
* * * * *

eléctrico; magnético; perpendiculares; perpendiculares

9. La mutua generación de campos magnéticos y eléctricos en un paquete, ocurre sólo cuando éste está (en reposo/moviéndose).
* * * * *

moviéndose

10. El experimento muestra que la magnitud del campo eléctrico generado por un flujo magnético cambiante depende de la rapidez con que ocurra el cambio; esto significa que la magnitud del campo eléctrico generado en la Fig. 1 del Panel 53 (depende de/es independiente de) la rapidez con que se mueva el paquete.
* * * * *

depende de

11. Panel 53. La magnitud del campo magnético generado por el campo eléctrico de la Fig. 2 depende de la magnitud del campo eléctrico generado en la Fig. 1, y de la rapidez del paquete. Si $\vec{E}$ y $\vec{v}$ *no son* suficientemente grandes, la magnitud del campo magnético generado en la Fig. 2 (es/no es) la misma que tenía inicialmente en la Fig. 1.
* * * * *

no es

12. La teoría predice que la rapidez con que el paquete móvil de campos eléctrico y magnético es capaz de mantenerse a sí mismo, es aproximadamente de 3×10^8 m/seg; ésta es, de hecho, la rapidez de propagación de la luz en el vacío y, en consecuencia, si un paquete de campos magnético y eléctrico se mueve en el vacío con una rapidez de 2×10^8 m/seg (es/no es) capaz de mantenerse por sí mismo indefinidamente al entrar en nuevas regiones.

* * * * *

no es

13. Panel 53. Un paquete de campos eléctrico y magnético tal como el mostrado en las figuras 1 y 2 del Panel 53, que es capaz de mantenerse por sí mismo mediante la generación mutua de campos eléctricos y magnéticos al moverse en el espacio, se llama *pulso de onda electromagnética.* El pulso de onda electromagnética se mueve en el vacío a la rapidez de propagación de la ....., o sea: ..... m/seg.

* * * * *

luz; 3×10^8

14. Los pulsos de ondas electromagnéticas generados periódicamente, es decir, a intervalos de tiempo iguales, constituyen una *onda electromagnética.* Las flechas cruzadas de la Fig. 3 del Panel 53 representan paquetes de campos eléctrico y magnético perpendiculares entre sí y moviéndose como se indica, a 3×10^8 m/seg. Este grupo constituye (un pulso/una onda) electromagnético(a).

* * * * *

una onda

15. No es una coincidencia el que los paquetes de campo mostrados en el Panel 53 tengan que desplazarse con la rapidez de propagación de la luz en el vacío; de hecho, esto es una clara prueba de que la luz es una forma de onda .....

* * * * *

electromagnética

16. *Siempre que se acelera una partícula cargada,* se emiten ondas electromagnéticas. Tal cambio en el movimiento de una partícula cargada, es lo que suministra los campos eléctrico y magnético (estacionarios/móviles) que constituyen el pulso de onda electromagnética. *Todos* los pulsos electromagnéticos, sin importar cómo se produzcan, viajan a la velocidad de la ..... en el vacío.

* * * * *

móviles; luz

17. Producimos lo que comúnmente se llama ondas de radio, moviendo cargas en un conductor largo (llamado antena) en movimiento armónico simple. Este movimiento (es/no es) acelerado. Entonces, sabemos que las ondas de radio deben desplazarse con una rapidez de ..... m/seg en el vacío. Las ondas de radio (son/no son) ondas electromagnéticas.

* * * * *

es; 3×10^8; son

18. La aceleración de partículas *cargadas* (electrones) dentro de moléculas y átomos, produce ondas luminosas y ondas infrarrojas. Las ondas luminosas y las infrarrojas (son/no son) electromagnéticas; las ondas luminosas y las infrarrojas se mueven en el vacío con (la misma rapidez/diferente rapidez).

* * * * *

son; la misma rapidez

19. Las diferentes clases de ondas electromagnéticas se caracterizan por el número (medido en ciclos por segundo) de pulsos que se emiten en una unidad de tiempo; esta característica de las ondas electromagnéticas se llama su *frecuencia.* Las ondas de radio se emiten aproximadamente a razón de 10^6 por segundo; las infrarrojas, a razón de 10^{13} por segundo. Las ondas de radio y las infrarrojas viajan en el espacio con (la misma rapidez/diferente rapidez) y tienen (la misma frecuencia/distintas frecuencias).

* * * * *

la misma rapidez; distintas frecuencias

20. Panel 53. La Fig. 4 muestra una carta del *espectro electromagnético* que indica las frecuencias de algunas de las diferentes clases de ondas electromagnéticas. Todas las ondas del espectro electromagnético se propagan con la misma (rapidez/frecuencia).

* * * * *

rapidez

21. Panel 53, Fig. 4. Las ondas de radio, las infrarrojas, la luz visible, la ultravioleta y los rayos X, son todos ellos parte del e..... e..... ..... Los pulsos de luz visible se emiten con (mayor/menor) frecuencia que los de las ondas de radio; en consecuencia, las ondas luminosas tienen (mayor/menor) frecuencia.

* * * * *

espectro electromagnético; mayor; mayor

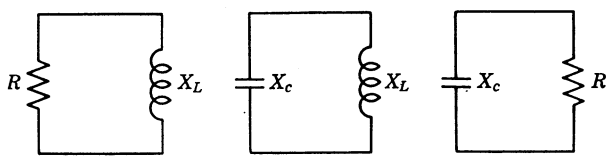
22. Panel 53, Fig. 4. Los pulsos de ondas electromagnéticas que constituyen un rayo X viajan a ..... m/seg, y se emiten aproximadamente a ..... ciclos/seg, lo que significa que los paquetes de campos ..... y ..... que forman un rayo X se emiten a (mayor/menor) frecuencia que la luz, a pesar de que viajan en el vacío con (mayor/menor/igual) rapidez.

* * * * *

3×10^8; 10^{18}; *en cualquier orden:* eléctrico, magnético; mayor; igual

Sección 8. Circuitos oscilantes

1. Un circuito que contenga únicamente una resistencia y un condensador se llama circuito *RC,* y tiene una impedancia consistente en resistencia y r..... capacitiva. En esta figura, [*(a)/(b)/(c)*] es un circuito *RC.*



(a) *(b)* *(c)*

* * * * *

reactancia; *(c)*

2. Vea la sfiguras del cuadro anterior. Un circuito consistente en resistencia ordinaria y una bobina, se llama circuito *RL. (a)* (es/no es) un circuito *RL; (b)* (es/no es) un circuito *RL.*

* * * * *

es; no es

3. La Fig. *(b)* del cuadro 1 muestra un circuito *LC*; su impedancia total es la combinación de su reactancia ..... y su reactancia .... Se supone que la resistencia de los alambres conductores de un circuito *LC* (es/no es) despreciable.

* * * * *

capacitiva; inductiva; es

4. Veamos el Panel 54. La letra en la esquina superior derecha es una ....

* * * * *

T

5. Panel 54. El circuito de la Fig. 1 consiste de una bobina y un condensador; esto lo identifica como circuito (*RC*/*LC*/*RL*). Las placas del condensador tienen cargas iguales y opuestas. Cuando se abre el interruptor (hay/no hay) corriente en el circuito, y toda su energía se almacena en el campo (eléctrico/magnético) (del condensador/de la bobina).

* * * * *

LC; no hay; eléctrico; condensador

6. Panel 54. En la Fig. 2 se ha cerrado el interruptor y fluye en el circuito una corriente en el sentido ..... del reloj; el resultado es (un aumento/una disminución/ningún cambio) en el campo eléctrico del condensador, y (un aumento/una disminución/ningún cambio) en el campo magnético de la bobina.

* * * * *

contrario a las manecillas; una disminución; un aumento

7. Panel 54. Un poco más tarde (en la Fig. 3) (hay una/no hay) carga en las placas del condensador; en este instante, toda la energía del circuito está almacenada en el campo ..... de la ..... Puesto que es un circuito *LC*, su resistencia eléctrica (es/no es) despreciable, y (hay/no hay) pérdida de energía, en forma de calor.

* * * * *

no hay; magnético; bobina; es; no hay

8. Panel 54. En la Fig. 4, el campo magnético de la bobina (continúa aumentando/permanece igual/comienza a disminuir); esto induce una corriente eléctrica que fluye en la dirección .... del reloj y produce un campo (eléctrico/magnético) en el condensador, que (tiene la misma dirección/es opuesto a la dirección) que tenía originalmente.

* * * * *

comienza a disminuir; contraria a las manecillas; eléctrico; es opuesto a la dirección

9. Panel 54. En la Fig. 5, toda la energía del circuito está otra vez almacenada en el campo ..... del ..... En la Fig. 6, la corriente fluye en dirección ..... del reloj, y (toda/parte de) la energía del circuito está almacenada en el campo magnético de la bobina. (Hay/No hay) pérdidas de energía, en forma de calor.

* * * * *

eléctrico; condensador; de las manecillas; parte de; No hay

10. Panel 54. En la Fig. 7 (toda/parte de) la energía del circuito está almacenada en la *bobina.* Conforme el campo magnético desaparece (Fig. 8), induce una corriente que transfiere energía, del campo .... de la ....., al campo ..... del .....

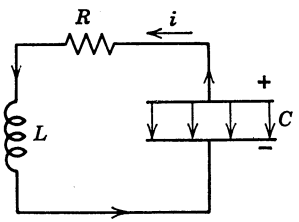
toda; magnético; bobina; eléctrico; condensador

11. Al sistema cuya energía se transforma alternadamente de una forma a otra y con pérdidas *despreciables* en forma de calor, se le llama *oscilante.* Una masa que, estando suspendida de un resorte, se mueve hacia arriba y hacia abajo, constituye un sistema cuya energía pasa alternadamente del campo gravitacional, a la energía potencial del resorte; este sistema masa-resorte (es/no es) oscilante.

* * * * *

es

12. Conforme la energía sale del campo eléctrico de este condensador, en forma de corriente, la mayor parte de ella se transforma en calor en la resistencia *R.* Toda la energía almacenada inicialmente en el campo eléctrico (se/no se) conserva en el campo magnético de *L*; por tanto, éste (es/no es) un sistema oscilante.



* * * * *

no se; no es

13. Panel 54. El calor que genera un circuito *LC* es (apreciable/despreciable); un circuito *LC* (es/no es) un sistema oscilante.

* * * * *

despreciable; es

14. Panel 54. La transferencia alternada de energía, del campo eléctrico al magnético, en un circuito *LC*, está acompañada del flujo de corriente (directa/alterna) del circuito.

* * * * *

alterna

15. La frecuencia f con que oscila la energía de un campo al otro en un circuito LC, depende críticamente de las reactancias inductiva y capacitiva de la bobina y el condensador. La reactancia inductiva se relaciona con f mediante la ecuación: $X_L = 2\pi fL$, donde L es una propiedad de la bobina, que se llama inductancia. La reactancia capacitiva de un condensador se relaciona con la frecuencia de la oscilación mediante la ecuación: $X_c = 1/2\pi fC$, donde C es una propiedad del condensador, que se llama capacitancia. La impedancia de un circuito LC es *cero* cuando X_L y X_c son iguales. Haciendo: $2\pi fL = 1/2\pi fC$, podemos despejar f para obtener una ecuación para la *frecuencia de oscilación* f. $f =$ .....

* * * * *

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC};\ f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC};\ f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

16. $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$ es una ecuación para la ..... de ..... de un circuito LC. L y C son propiedades de la ..... y el .... en el circuito, respectivamente.

* * * * *

frecuencia (de) oscilación; bobina; condensador

17. En la sección 7 vimos que una onda electromagnética se caracteriza por una ..... medida en ciclos por segundo.

* * * * *

frecuencia

18. Cuando una onda electromagnética de frecuencia f_w pasa a través de una región donde hay un circuito LC, induce una corriente eléctrica en los alambres del circuito; ésta es una (c-d/c-a) que oscila con una frecuencia (igual a/diferente a) f_w.

* * * * *

c-a; igual a

19. $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ es la frecuencia *natural* o *resonante* de un circuito LC. Si $f_w \neq f$, la oscilación producida por la onda electromagnética al pasar a través de la región del circuito es probable que sea de muy corta duración, porque en ese caso, X_L y X_c son (iguales/diferentes), y la impedancia del circuito es (igual a/diferente de) cero.

* * * * *

diferentes; diferente de

20. Sin embargo, si $f_w = f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$, la frecuencia de la onda electromagnética es la frecuencia ..... del circuito; en este caso, la impedancia del circuito es igual a, o muy cercana a ..... *(número),* y (es/no es) probable que la oscilación producida por la onda electromagnética sea mantenida durante un tiempo considerable.
* * * * *

natural o resonante; cero; es

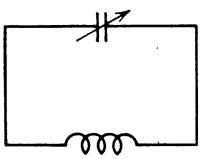
21. Si una onda electromagnética se mueve a través de una región donde hay un circuito *LC,* y su frecuencia es igual a la frecuencia natural del circuito, inducirá una c-a (fuerte/despreciable) en el circuito.
* * * * *

fuerte

22. El espacio está lleno de ondas electromagnéticas de frecuencias diferentes. Un circuito *LC detectará* (es decir, comenzará a oscilar con) sólo aquellas que tengan (la misma frecuencia que/una frecuencia diferente de) la frecuencia natural del circuito.
* * * * *

la misma frecuencia que

23. La flecha indica que el condensador de este circuito es *variable,* es decir, se puede variar en él la capacitancia sobre un intervalo de valores,



lo que significa que (se puede/no se puede) cambiar la reactancia capacitiva del circuito, y que la frecuencia natural del mismo es (fija/variable).
* * * * *

se puede; variable (puesto que $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$, y C es variable).

24. Un condensador variable nos permite "sintonizar" a un circuito *LC* dentro de un intervalo de frecuencias de ondas electromagnéticas. Cuando usted sintoniza su radio con una estación determinada, está usted variando la capacitancia de su circuito ....., hasta que su frecuencia ..... sea igual a la de las ondas ..... que emite la antena de esa estación.
* * * * *

LC; natural *o* resonante; electromagnéticas

Sección 9. Repaso y problemas

1. Cuando una bobina de alambre y un imán están (en reposo/moviéndose) uno respecto al otro, se ..... una fem en la bobina.

* * * * *

moviéndose; induce

2. Conforme a la ley de Lenz, una corriente inducida tiende a (reforzar el/oponerse al) cambio que está produciéndola. Cuando el polo *N* de un imán se está acercando a una espira de alambre, produce una corriente inducida en la espira que hace que la cara de ésta que queda más cerca al imán sea un polo (N/S).

* * * * *

oponerse al; N

3. En una espira se induce una corriente, siempre que el número total de líneas de campo magnético en la espira sea (constante/variable).

* * * * *

variable

4. El fenómeno por el cual se genera la corriente y la fem en un conductor cuando está moviéndose con respecto a un campo magnético, se llama .....

* * * * *

inducción electromagnética

5. Un tramo de alambre de longitud l está moviéndose con una rapidez v, en ángulo recto con un campo magnético uniforme $\vec{B}$. Escriba una ecuación para la fem inducida en el alambre, en función de su longitud, su rapidez y la magnitud del campo.

* * * * *

$\mathcal{E} = Bvl$

6. Un tramo de alambre de 2 m de largo está moviéndose en ángulo recto con un campo magnético $\vec{B} = 3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m, con una rapidez de 5 m/seg. Calcule la fem inducida.

* * * * *

$\mathcal{E} = Bvl = (3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m) (5 m/seg) (2 m) $= 0.30$ voltios

7. La ley de Lenz se puede interpretar como requiriendo que un sistema bobina-campo magnético debe realizar un ....., para crear una fem ..... En efecto, éste es un ejemplo más de la ley de la conservación de la .....

* * * * *

trabajo; inducida; energía

8. Un campo magnético uniforme $\vec{B} = 3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m pasa perpendicularmente a través de un área de 3 m^2. El flujo magnético en esta superficie es de ..... newton-m/amp.

* * * * *

$$\phi = AB \operatorname{sen} \theta = (3 \text{ m}^2)(3 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m}) \operatorname{sen} 90^\circ$$
$$= (3 \text{ m}^2)(3 \times 10^{-2} \text{ newton/amp-m})(1) = 9 \times 10^{-2} \text{ newton-m/amp}$$

9. El cambio de flujo magnético dentro de una espira de alambre es de 5×10^{-1} newton-m/amp, en 0.25 seg. La fem inducida en la espira es de ..... volt(s).

* * * * *

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{5 \times 10^{-1} \text{ newton-m/amp}}{0.25 \text{ seg}} = 2 \text{ newton-m/amp-seg} = \mathbf{2 \text{ volts}}$$

10. Podemos describir la inducción electromagnética en general, diciendo que es el resultado de ..... de ..... magnético y eléctrico.

* * * * *

cambios; flujo

11. Para que se induzca una fem en una espira (es/no es) necesario que la espira atraviese líneas de campo magnético.

* * * * *

no es (sólo es necesario que el flujo magnético total dentro de ella sea cambiante).

12. Un conductor que transporta una corriente eléctrica irradia un campo (eléctrico/magnético). Podemos explicar la inducción electromagnética, suponiendo que en una región donde hay un .... cambiante, se irradia un campo (eléctrico/magnético).

* * * * *

magnético; flujo magnético; eléctrico

13. El generador eléctrico es un dispositivo que transforma la energía ..... en energía .....; el motor eléctrico transforma la energía ..... en energía .....

* * * * *

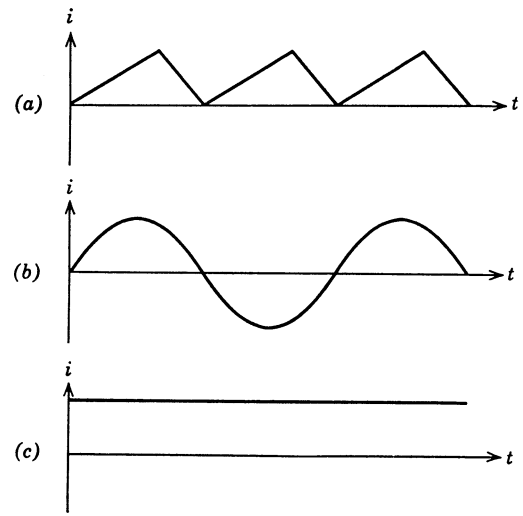
mecánica; eléctrica; eléctrica; mecánica

14. La corriente (alterna/directa pulsante/directa estable) cambia de magnitud y dirección periódicamente. La corriente (alterna/directa pulsante/directa estable) no cambia su magnitud ni su dirección.

* * * * *

alterna; directa estable

15. [*(a)/(b)/(c)*] es una gráfica de corriente alterna; [*(a)/(b)/(c)*] es una gráfica de corriente directa estable; [*(a)/(b)/(c)*] es una gráfica de corriente directa pulsante.



* * * * *

(b); (c); (a)

16. Calcule la fem máxima suministrada a la bobina de un generador que tiene un área de 0.02 m^2, 1500 vueltas de alambre y gira a 1200 revoluciones por minuto en un campo magnético uniforme $B = 3 \times 10^{-2}$ newton/amp-m. (repase la sección 4 para la fórmula adecuada).

* * * * *

$$\mathcal{E}_{máx} = 2\pi fNBA = 2(3.14)\left(\frac{1200}{60}\right)(1500)(3 \times 10^{-2})(0.02) =$$

$$= 113 \text{ voltios}$$

17. La corriente que se desarrolla en las bobinas de un generador eléctrico (siempre/algunas veces/nunca) es corriente alterna.

* * * * *

siempre

18. El generador eléctrico que suministra corriente alterna a un circuito externo se llama .....

* * * * *

alternador

19. Se conecta una batería de 6 volts al primario de una bobina de inducción. Calcule el potencial inducido en el secundario, si tiene 10,000 vueltas, y el primario 200 vueltas.

* * * * *

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = (6)\left(\frac{10000}{200}\right) = 300 \text{ volts}$$

20. La diferencia de potencial en la bobina primaria de un transformador es 200 volts; la diferencia de potencial suministrada al secundario es 25 volts. Este es un transformador (elevador/reductor). Si la corriente en el secundario es de 15 amp, en el primario será de ..... amp. La potencia empleada en el secundario es de ..... watts.

* * * * *

reductor; $\frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s}$; $\frac{25}{200} = \frac{i_p}{15}$; $i_p = 1.9$ amp

Potencia $= i_s V_s = (15)(25) = 375$ watts

21. En principio, el betatrón es un transformador (elevador/reductor) cuya bobina (primaria/secundaria) se ha reemplazado con el tubo hueco en forma de dona; la energía se transfiere a los ..... en el tubo, conforme el ..... a través del agujero de la dona cambia rápidamente.

* * * * *

de reducción; secundaria; electrones; flujo magnético

22. La corriente en el primario de una bobina de inducción es (directa/alterna). La corriente en el primario del betatrón es (directa/alterna).

* * * * *

directa; alterna

23. En el betatrón, la energía suministrada por el flujo magnético cambiante en el primario, se transforma en (calor/energía cinética de los electrones) en el tubo en forma de dona.

* * * * *

energía cinética de los electrones

24. Una corriente alterna en una bobina de alambre, induce otra corriente eléctrica en la bobina, porque produce un campo magnético (constante/variable) dentro y alrededor de la bobina. Esta corriente autoinducida (refuerza/se opone) a la corriente que la produce.

* * * * *

variable; se opone

25. La reactancia en un circuito de c-a (produce/no produce) calor, y (reduce/no reduce) la corriente en el circuito.

* * * * *

no produce; reduce

26. La reactancia debida a la presencia de una bobina en un circuito de c-a, se llama ..... La energía eléctrica empleada en vencer esta clase de reactancia, se almacena en el ..... de la bobina.

* * * * *

inductiva; campo magnético

27. La reactancia capacitiva de un circuito de c-a es de 5 ohmios y la inductiva de 8 ohmios. Calcule la impedancia del circuito, si su resistencia ordinaria es de 4 ohmios.

* * * * *

$$Z = \sqrt{(X_L - X_c)^2 + R^2} = \sqrt{(8-5)^2 + (4)^2} = 5 \text{ ohmios}$$

28. La energía usada en vencer la reactancia capacitiva se almacena en el ..... del condensador.

* * * * *

campo eléctrico

29. La combinación de reactancias capacitiva e inductiva de un circuito de c-a es de 5 ohmios; la resistencia ordinaria del circuito suma 12 ohmios; el potencial máximo en los extremos del circuito es 52 volts. Calcule la corriente máxima en el circuito.

* * * * *

$$i = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{(X_L - X_c)^2 + 12^2}} = \frac{52}{\sqrt{5^2 + 12^2}} = 4 \text{ amp}$$

30. Las ondas electromagnéticas consisten de paquetes de .... y ....., que están moviéndose en el espacio, con la rapidez de .....

* * * * *

campos magnéticos (y) eléctricos; la luz

31. Los campos magnéticos y eléctricos móviles continúan regenerándose entre sí únicamente cuando se mueven en el vacío con una rapidez de ..... m/seg.

* * * * *

3×10^8

32. Las ondas de radio y la luz viajan con (la misma rapidez/distinta rapidez) en el vacío; tienen (la misma frecuencia/frecuencias diferentes).

* * * * *

la misma rapidez; frecuencias diferentes

33. A menudo se producen ondas electromagnéticas cuando las partículas (cargadas/descargadas/cargadas o descargadas) se mueven (con rapidez constante/con rapidez variable).

* * * * *

cargadas; con rapidez variable

PROBLEMAS

1. Dibuje las posiciones que adopta la bobina en el campo magnético del Panel 47, para cada 90° de la gráfica.

2. ¿Cuál es la fuerza magnética sobre un electrón de conducción en un alambre que corta en ángulo recto a un campo magnético B con un valor de 10^{-6} newton/amp-m y una rapidez de 10 m/seg? (la carga q de un electrón es 1.6×10^{-19} culombios).

3. En un generador donde B vale 5×10^{-5} newton/amp-m, la velocidad es de 4 m/seg y la longitud de un elemento del alambre que corta todo el campo es de 0.1 m, ¿cuál es la fem inducida?

4. En la sección *ab* del Panel 45 se induce una fem de 1 voltio; la longitud de *ab* es 0.05 m, y el campo magnético B vale 10^{-3} newton/amp-m. ¿Con qué rapidez deberá moverse el electrón, para inducir este voltaje?

5. ¿Cuál es la longitud de una sola espira de alambre que corta de lado a lado un campo B de 5.2×10^{-2} newton/amp-m a una rapidez de 1 m/seg, induciendo un voltaje de 0.5 milivoltio (0.0005 voltio)?

6. ¿Cuál es el valor del flujo magnético ϕ, si el campo B es de 2×10^{-5} newton/amp-m y el área de corte es de 2×10^{-5} m^2 cuando la bobina está cortando perpendicularmente a las líneas de flujo?

7. Si en el problema 6 la bobina está cortando a las líneas de fuerza a 60°, ¿cuál es el flujo?

8. Si el flujo es de 5×10^{-5} newton-m/amp y el área de flujo que se está cortando a 90° es de 2×10^{-4} m^2, ¿cuál es el valor del campo B?

9. ¿Cuál es la fem, si $\Delta\phi$ vale 10^{-5} newton-m/amp y el Δt es 0.2 seg?

10. ¿Cuál es el trabajo realizado al mover un electrón de conducción alrededor de un círculo de alambre de 2 m de diámetro? El voltaje (fem) es 2 voltios y $q = 1.6 \times 10^{-19}$ culombios, para un electrón.

11. ¿Cuál es, en voltios, la fem inducida máxima en un generador cuya bobina tiene 100 vueltas y gira a 100 rpm? El área del campo magnético que se corta es de 10^{-4} m^2 y el campo magnético es 10^{-3} newton/amp-m.

12. Con las condiciones del problema anterior, trace una gráfica de la corriente inducida en una revolución completa, comenzando con un ángulo de 0° entre flujo y bobina, en función del tiempo.

13. En el problema 11, ¿cuál es la fem, si su bobina está a 30° con el campo magnético?

14. Si un transformador tiene un primario de 240 vueltas operando con 120 voltios c-a y el secundario tiene 24 vueltas, ¿cuál es el voltaje en el secundario? Si la corriente en el primario es de 5 amperes, ¿cuál es la corriente máxima en el secundario?

15. Si el transformador (de alto voltaje) para un tubo de rayos X dentales tiene un primario de 120 vueltas y se alimenta con 240 voltios, ¿cuál es el número de vueltas en el secundario, para que suministre 100,000 voltios para el tubo de rayos X?

16. ¿Cuál es el trabajo realizado al mover un electrón en la dona de un betatrón, si la fem inducida es de 50 voltios, y el número de vueltas por segundo es 10^5?

17. ¿Cuál es la impedancia de un circuito de c-a con una reactancia inductiva de 10 ohmios y una reactancia capacitiva de 6 ohmios?

18. Cuando la reactancia capacitiva de un circuito es de 10 ohmios, la reactancia inductiva de 5 ohmios y la resistencia ordinaria de 3 ohmios, ¿cuál es la impedancia del circuito?

Panel 1

1. Una barra de vidrio es suspendida de un soporte mediante una cuerda de seda (Fig. 1).

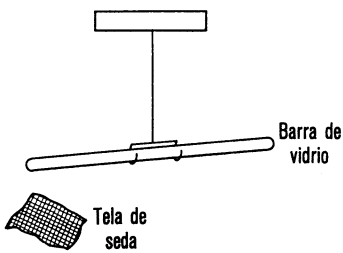


Fig. 1

2. Se acerca un trozo de tela de seda a un extremo de la barra. *No sucede nada.*

3. Se frota vigorosamente un extremo de la barra co nla tela de seda, y en seguida separamos la barra de la tela.

4. Ahora, cuando se acerca la tela al extremo *frotado* de la barra suspendida, la tela atrae a la barra (Fig. 2).

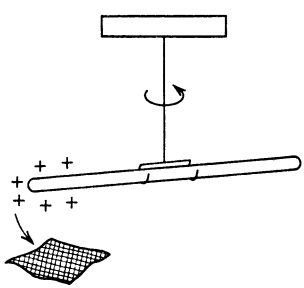


Fig. 2

5. Se acerca otra barra de vidrio (que *no* ha sido frotada con seda) al extremo frotado de la barra suspendida; ésta es atraída por la otra barra (Fig. 3).

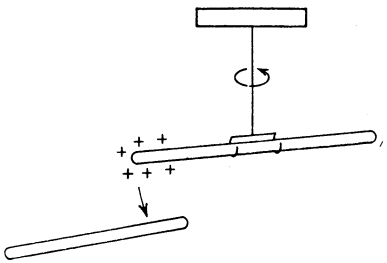


Fig. 3

6. Entonces se acerca una barra de hule al extremo frotado de la barra de vidrio suspendida. También se atraen mutuamente (Fig. 4).

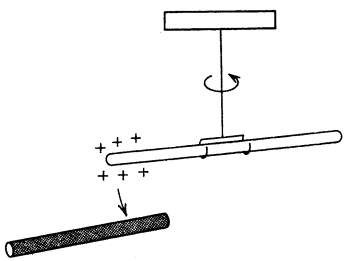


Fig. 4

7. Se frota con la tela de seda otra barra de vidrio; cuando ésta se acerca al extremo frotado de la barra de vidrio suspendida, esta barra es *repelida* (Fig. 5).

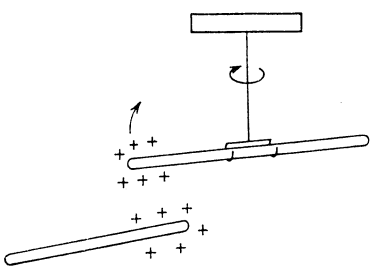


Fig. 5

Panel 2

En este experimento empleamos una barra de *hule* y un trozo de tela de lana o una piel de otro animal, y observamos los efectos.

1. Se suspende de un soporte una barra de hule mediante una cuerda de seda y se acerca a la barra un trozo de piel de animal (lana, etc.). No sucede nada.

2. Entonces se frota vigorosamente con la piel de animal un extremo de la barra de hule. En seguida se observa que cuando se acerca la piel de animal al extremo frotado de la barra, ésta es atraída por la piel (figura 1).

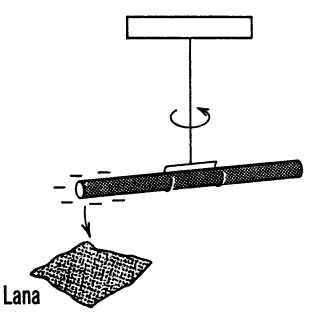


Fig. 1

3. Ahora se acerca a la barra suspendida otra barra de hule (que no ha estado en contacto con la piel del animal). La barra suspendida es atraída por ella (Fig. 2).

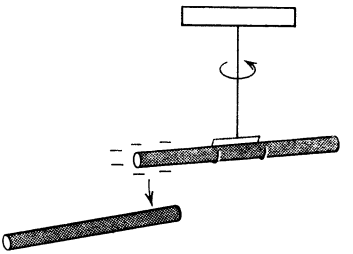


Fig. 2

4. Se acerca a la barra de hule cargada una barra de vidrio descargada (es decir, que no se ha frotado recientemente con seda). Las barras se atraen mutuamente.

5. La segunda barra de hule (la que se usó en el paso 3, arriba) se frota con un trozo de piel de animal y se acerca a la barra de hule suspendida. Ahora las baras de hule *se repelen* (Fig. 3).

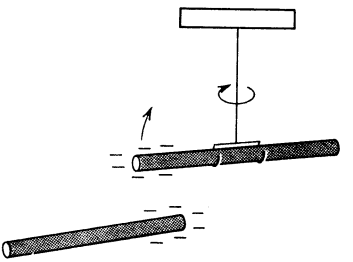


Fig. 3

6. Entonces el experimentador acerca a la barra de hule suspendida, una barra de vidrio frotada con una tela de seda. Se observa que la barra de vidrio atrae a la de hule (Fig. 4).

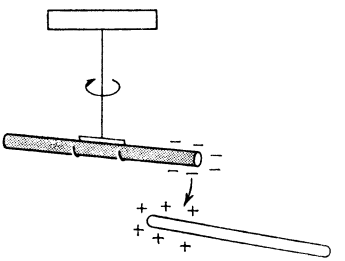


Fig. 4

Panel 3

1. Se frota con una seda un extremo de una barra de vidrio, y se suspende de un soporte mediante una cuerda. El extremo cargado se indica en las figuras que acompañan, con signos (+).

2. Se sostiene en la mano otra barra de vidrio; el extremo de esta barra se frota con seda y se acerca al extremo de la barra suspendida que ha sido frotado en el paso 1. (Véase la figura 1.)

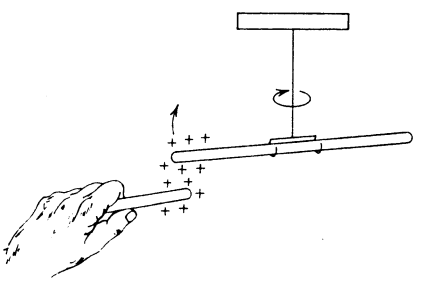


Fig. 1

3. En seguida se acerca el extremo cargado de la segunda barra, al otro extremo (el que no se ha frotado) de la barra suspendida. Note la atracción en la Fig. 2.

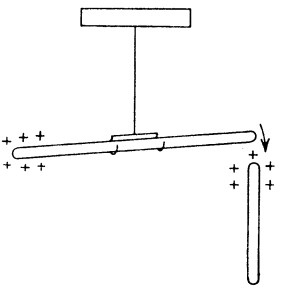


Fig. 2

4. Ahora se acerca una barra cargada *negativamente,* al mismo extremo de la barra suspendida. Note la atracción en la Fig. 3.

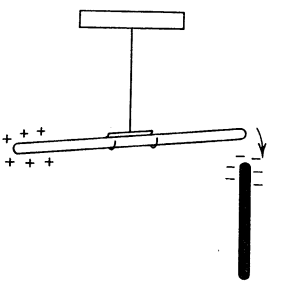


Fig. 3

Panel 4

1. Se cubren con pintura de aluminio algunas bolas de plástico ligeras; se suspende una de ellas de un soporte, mediante un hilo de seda.
2. Se acerca una barra de vidrio cargada positivamente a la bola (pero sin permitir que la toque). La bola es atraída por la barra.

3. En seguida se acerca una barra de hule cargada negativamente, a la bola suspendida (sin permitir que la toque). La bola es atraída hacia ella, tal como se observó en el paso 2, cuando fue atraída por la barra de vidrio.

4. Nuevamente es acercada la barra de vidrio cargada; esta vez se permite que toque a la bola (Fig. 1). Tan pronto como la bola toca a la barra, se aleja inmediatamente de ella y, después de esto, es repelida por la barra de vidrio cargada positivamente (Fig. 2).

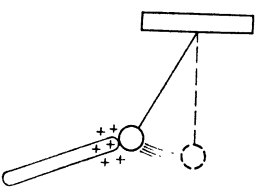


Fig. 1

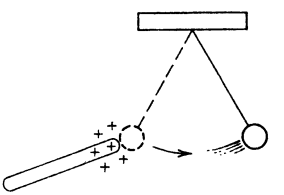


Fig. 2

5. El experimentador toca la bola con su mano y observa que es atraída nuevamente por la barra de vidrio cargada, cuando se acerca ésta, sin permitir que toque a la bola.

6. En seguida se toca la bola con una barra de hule cargada; el experimentador observa que nuevamente es repelida tan pronto como hace contacto con la barra.

7. Entonces se suspenden juntas otras dos bolas, como en la Fig. 3, permitiendo que se toquen. Se toca la bola de la izquierda con una de las barras cargadas; el resultado se observa en la Fig. 4.

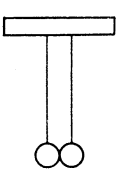


Fig. 3

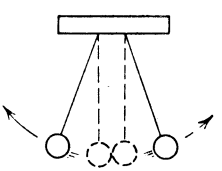


Fig. 4

Panel 5

La figura 1 muestra una sección de un dispositivo llamado *electroscopio,* que se usa para registrar cargas eléctricas. Consiste de una perilla metálica unida al extremo superior de un vástago de metal que está insertada en un collar de material aislante tal como hule, plástico, etc., para aislarla de la armazón del instrumento. En el extremo inferior del vástago están suspendidas dos láminas muy ligeras de oro o plata. La armazón y la base se usan sólo para alojar a la perilla, el vástago y las láminas, y para proteger a éstas, de corrientes de aire, etc. En la Fig. 2 se muestra un dibujo simplificado de un electroscopio descargado sin la armazón y cubierta.

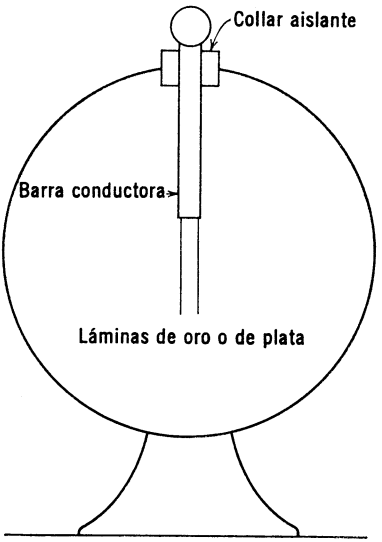


Fig. 1

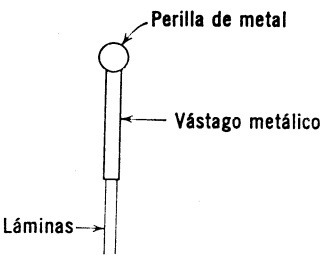


Fig. 2

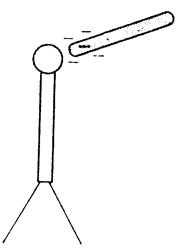


Fig. 3

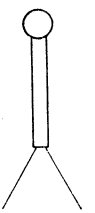


Fig. 4

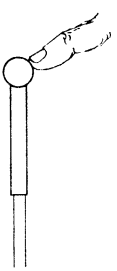


Fig. 5

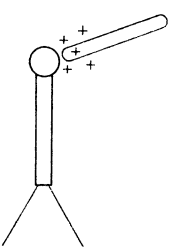


Fig. 6

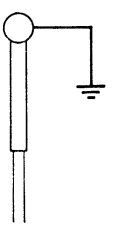


Fig. 7

Panel 6

1. Para cargar un electroscopio por contacto se usa una barra cargada positivamente. Se retira la barra y el electroscopio queda como se muestra en la Fig. 1.

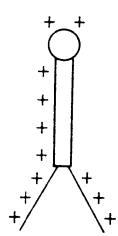


Fig. 1

2. Se acerca al electroscopio cargado positivamente una barra cargada negativamente (pero sin tocarlo). El resultado se muestra en la Fig. 2.

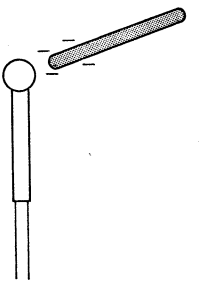


Fig. 2

3. En la fig. 3, la barra cargada negativamente ha sido retirada.

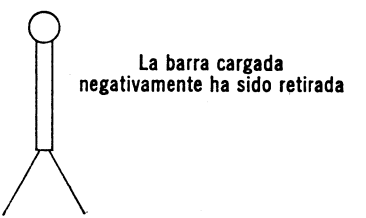


Fig. 3

4. El electroscopio se descarga a tierra y en seguida se le da una carga negativa, por contacto. Se repite el procedimiento de los pasos 2 y 3 de arriba, con una barra de prueba cargada *positivamente* (vea las Figs. 4 a 6).

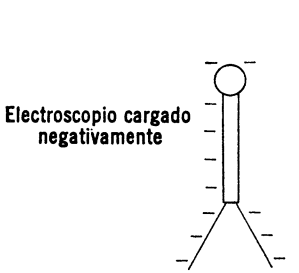


Fig. 4

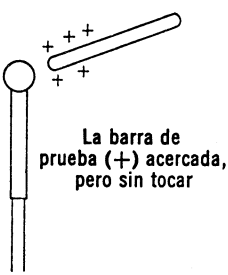


Fig. 5

Fig. 6

Panel 7

1. Se acerca una barra cargada negativamente a un electroscopio *descargado*. Las láminas se separan (Fig. 1).

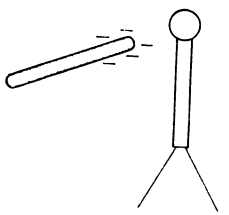


Fig. 1

2. Mientras la barra se mantiene muy cerca a la perilla, el electroscopio es descargado a tierra (como por ejemplo, tocando la bola con el dedo) (Fig. 2).

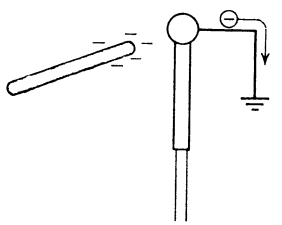


Fig. 2

3. La conexión a tierra (el dedo) se retira de la perilla, mientras la barra se mantiene muy cerca a ella (Fig. 3). La barra se retira y se observa que las láminas se separan (Fig. 4).

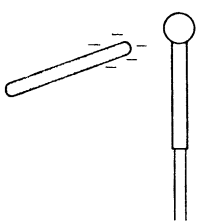


Fig. 3

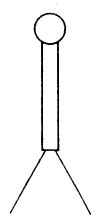


Fig. 4

Panel 8

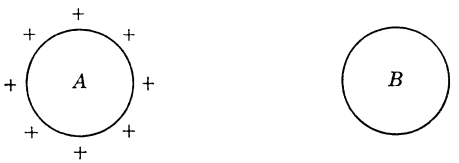


Fig. 1

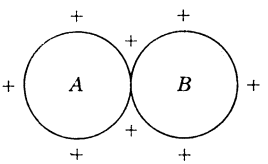


Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

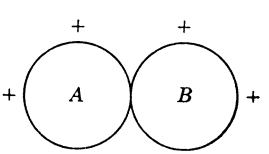
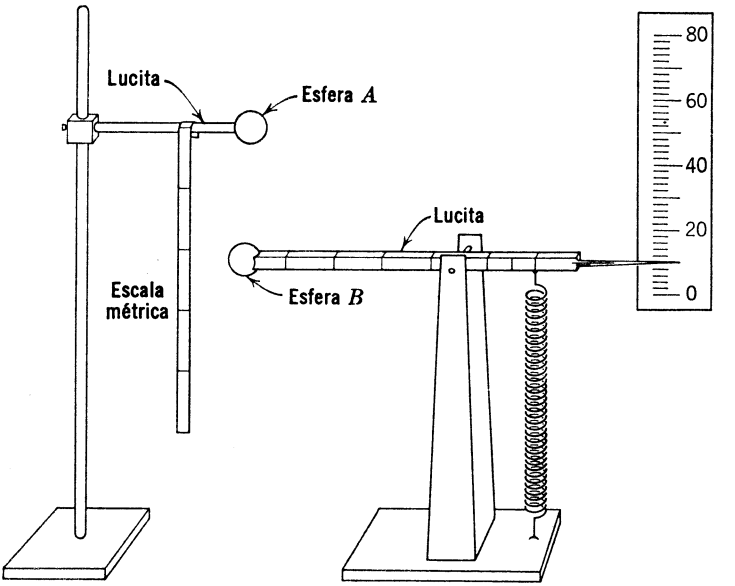


Fig. 5

Panel 9



Este es un dispositivo que se usa para medir cuantitativamente las fuerzas eléctricas ejercidas por diferentes cantidades de carga, separadas por distancias variables entre sí. Se colocan esferas metálicas huecas (para que sean ligeras) en los extremos de barras aislantes (de lucita). La esfera de arriba se puede ajustar, para que siempre esté a una distancia específica de la esfera inferior.

La esfera inferior está balanceada por una aguja indicadora unida a un resorte muy sensible. Puesto que el alargamiento del resorte es directamente proporcional a la fuerza que lo estira, el desplazamiento de la aguja en la escala de la derecha es una buena medida de la fuerza eléctrica que empuja hacia abajo a la esfera inferior y estira el resorte hacia arriba. Si la fuerza entre las esferas cargadas es de atracción, la aguja se moverá hacia abajo.

En el siguiente experimento se usan los aparatos descritos en el Panel 9 para establecer relaciones cuantitativas entre la fuerza eléctrica, la carga y la distancia.

1. En la esfera *A* se pone una carga positiva, tocándola con un objeto cargado positivamente.

2. En seguida se toca la esfera *A* con la *B* y se ajustan a una distancia fija entre ellas. En este experimento, la distancia fija entre *A* y *B* es de 25 cm; cuando se colocan a esta distancia, la aguja se mueve del 10 al 45.

3. Entonces se registran los siguientes cambios de lectura de la aguja: (*a*) después de que *A* ha sido tocada con *C* (descargada); (*b*) después de que *C* se descarga a tierra y toca nuevamente a *A*; (*c*) después de repetir el paso (*b*); (*d*) después de descargar nuevamente a tierra a *C* y tocar con ella a *B*.

4. Las observaciones resultantes de los pasos 2 y 3 de arriba, se resumen en la siguiente carta:

Paso en el experimento	I Distancia entre *A* y *B*	II Carga en *B*	III Carga en *A*	IV Producto de las cargas en *A* y *B*	V Cambio en la lectura de la aguja
2	25 cm	1	1	1	35
3(*a*)	25 cm	1	½	½	17½
3(*b*)	25 cm	1	¼	¼	8¾
3(*c*)	25 cm	1	⅛	⅛	4¾
3(*d*)	25 cm	½	⅛	1/16	2 3/16

5. *A* y *B* están descargados a tierra y la aguja regresa a su posición original en el 10 de la escala.

6. La esfera *A* se carga nuevamente por contacto. En seguida se toca con la esfera *B*. Luego se coloca la esfera *A* a 30 cm entre su centro y el centro de *B*. Se observa que la aguja se mueve del 10 al 30 de la escala.

7. En seguida se toman lecturas de la aguja, para diversas distancias entre *A* y *B*; los resultados se registran en la tabla de abajo. Durante esta parte del experimento, las cargas en *A* y *B* permanecen constantes.

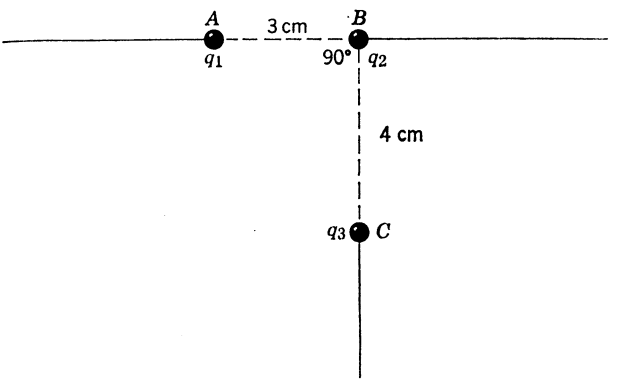
Distancia entre centros	Carga en *A*	Carga en *B*	Desplazamiento de la aguja
30 cm	1	1	20
15 cm	1	1	80
45 cm	1	1	8⅔
60 cm	1	1	5
75 cm	1	1	3⅕

1. Experimentalmente se ha determinado que la masa de un electrón es aproximadamente 9.0×10^{-31} kg. (*a*) Calcule la fuerza gravitacional de atracción entre dos electrones separados por 1 m de distancia (use $G = 6.67 \times 10^{-11}$ newton-m^2/kg^2). (*b*) Calcule la fuerza eléctrica de repulsión entre dos electrones a la misma distancia (use $k = 2.3 \times 10^{-28}$ newton-m^2/carga elemental^2). (*c*) ¿Cuál es la razón de la fuerza eléctrica entre dos electrones a la fuerza gravitacional entre ellos, a la misma distancia?

2. La fuerza eléctrica de repulsión entre dos objetos cargados igualmente, a una distancia de 10 metros entre sus centros, se ha determinado en 9.2×10^{-4} newton. Calcule la carga en cada objeto, en unidades de carga elemental.

3. q_1 tiene una carga de 2.0×10^{-6} culombio; q_2 tiene una carga de -2.0×10^{-6} culombio, y q_3 tiene una carga de 4.0×10^{-6} culombio. (*a*) Calcule magnitud y dirección de la fuerza eléctrica de q_1 sobre q_2. (*b*) Calcule magnitud y dirección de la fuerza eléctrica de q_3 sobre q_2. (*c*) Calcule magnitud y dirección de la suma vectorial de las fuerzas eléctricas de q_1 y q_3 sobre q_2. (*d*) Calcule magnitud y dirección de la suma vectorial de las fuerzas eléctricas de q_1 y q_2 sobre q_3.

4. El ángulo entre *AB* y *BC* es de 90°. Calcule la magnitud de la suma vectorial de las fuerzas eléctricas de q_1 y q_3 sobre q_2, sabiendo que las tres tienen la misma carga, que es de 1.0×10^{-6} culombio.



5. De acuerdo con el modelo atómico de Rutherford-Bohr, un átomo de hidrógeno consiste de un protón central con un electrón girando alrededor de él en una órbita circular de radio igual a 0.53×10^{-10} metro. Suponiendo que la fuerza centrípeta que produce esta aceleración se debe únicamente a la fuerza eléctrica entre el protón y el electrón, calcule la rapidez del electrón (use la masa del electrón dada en el problema 1 de este Panel).

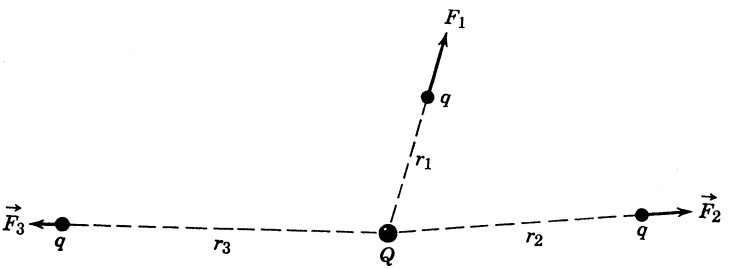


Fig. 1

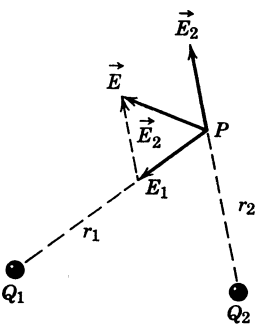


Fig. 2

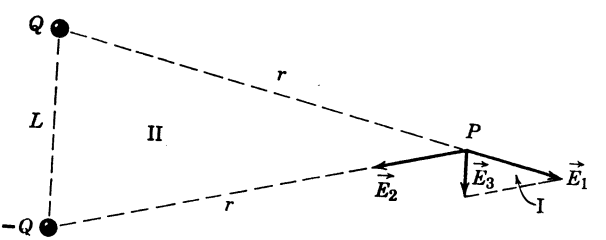


Fig. 3

Panel 13

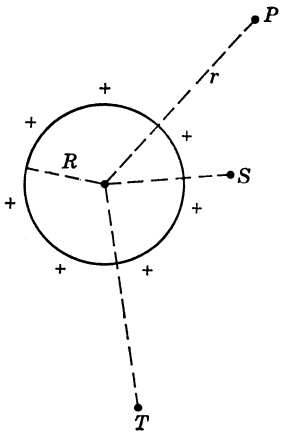


Fig. 1

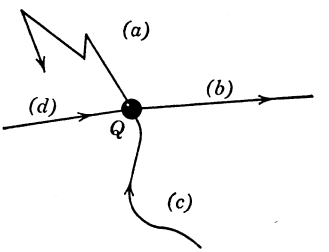


Fig. 2

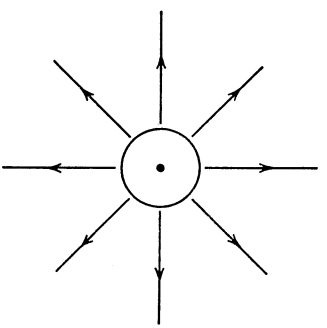


Fig. 3

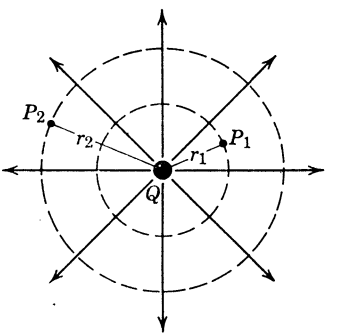


Fig. 4

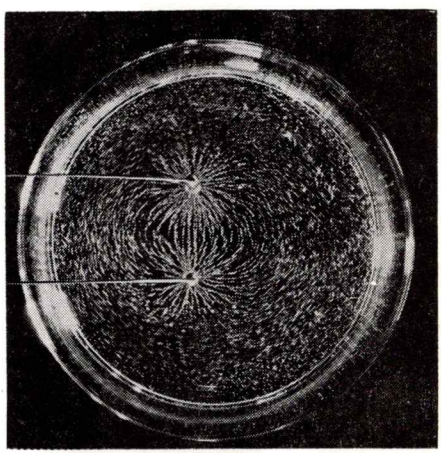


Fig. 1. Fotografía de la disposición del campo eléctrico que se forma cuando se ponen dos varillas con cargas iguales y opuestas, en semillas de pasto flotando en un líquido aislante.

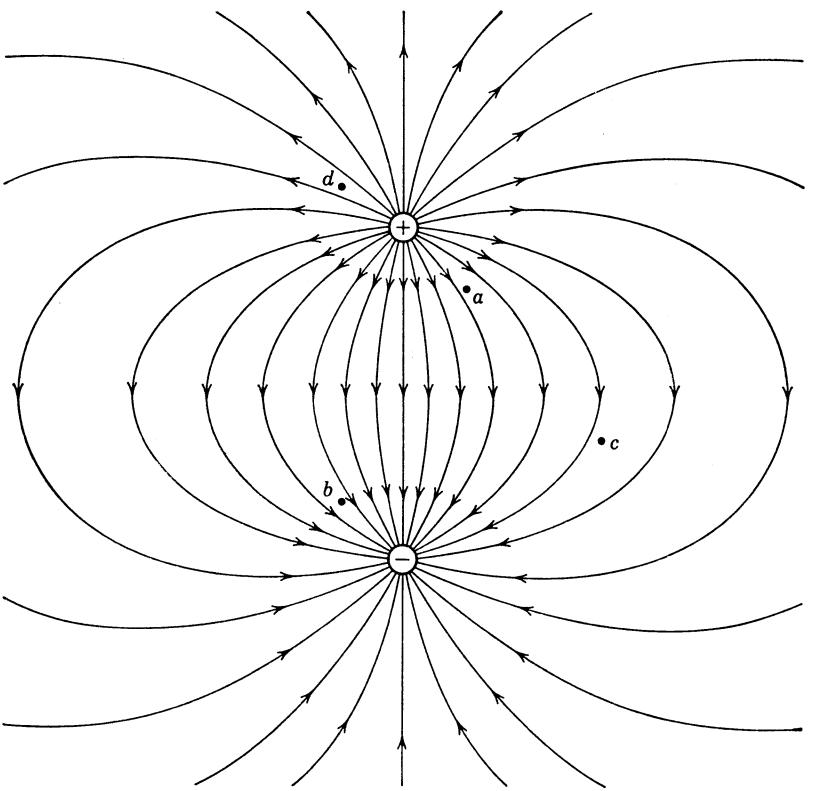
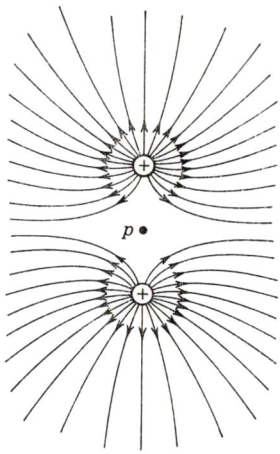


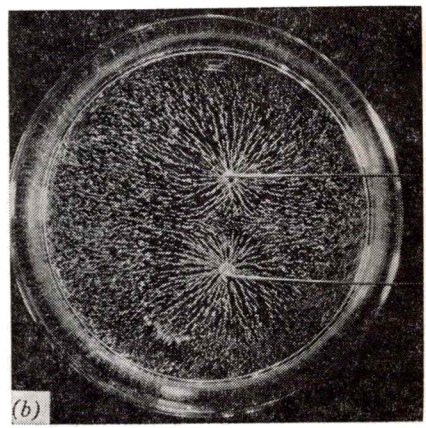
Fig. 2

Panel 15



(a)

Fig. 1*a*



(b)

Fig. 1*b*. Disposición que se forma cuando se ponen dos varillas con la misma carga, en semillas de pasto flotando en un líquido aislante. (Cortesía de Educational Services, Inc.)

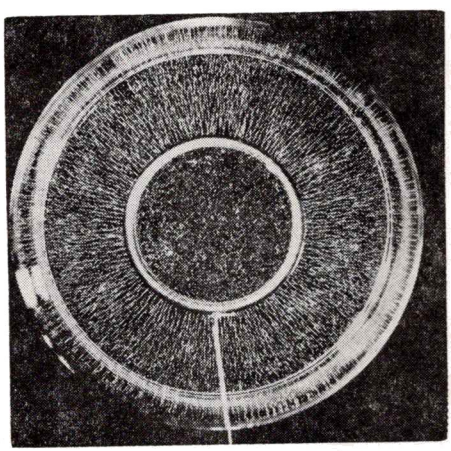


Fig. 2. Campo alrededor de un cilindro cargado.

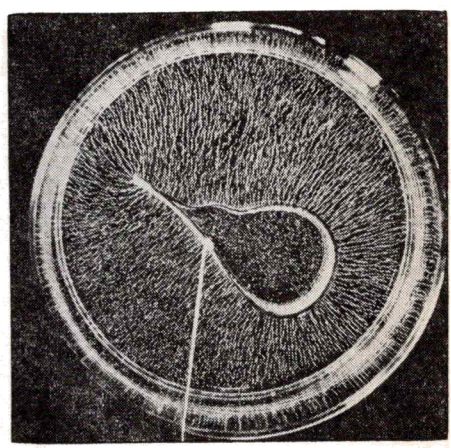
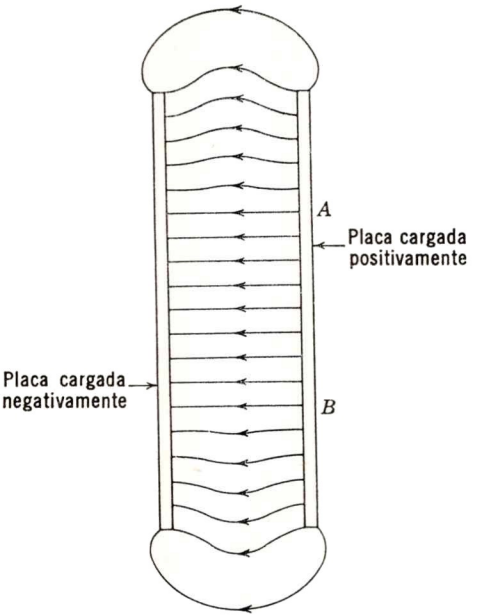


Fig. 3. Un conductor de forma irregular, cargado.



(*a*)

Fig. 4*a*

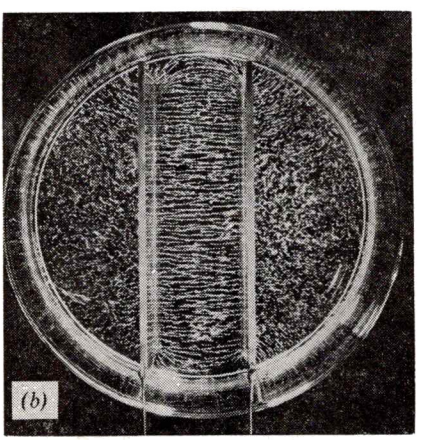


Fig. 4*b*. Placas conductoras paralelas con cargas iguales y opuestas.

Panel 16

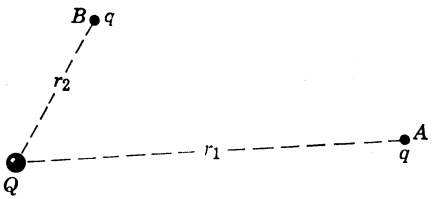


Fig. 1

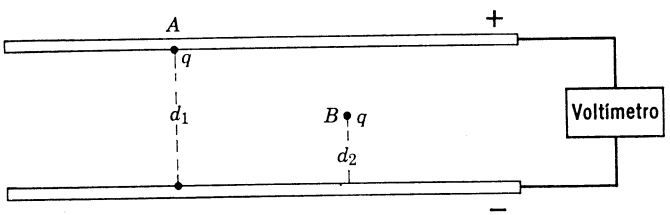


Fig. 2

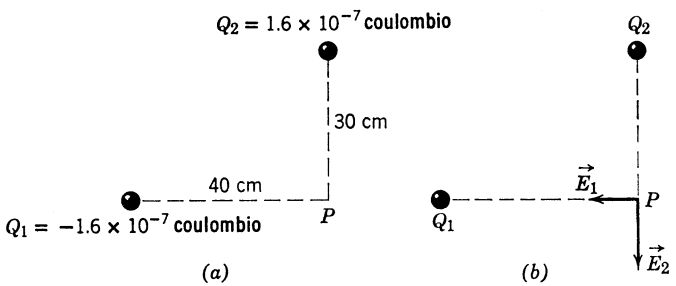


Fig. 3

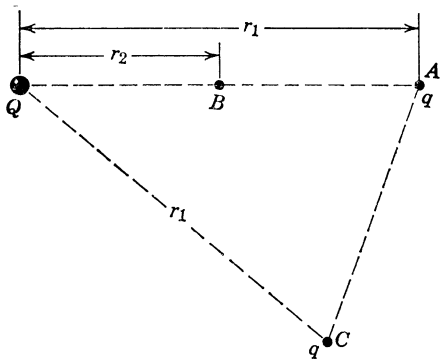


Fig. 1

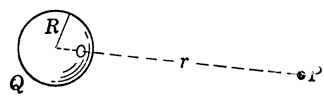


Fig. 2

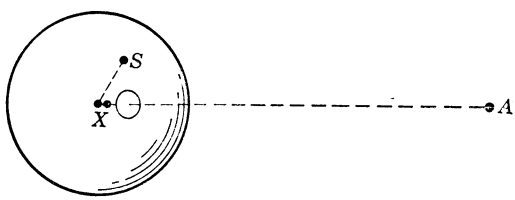


Fig. 3

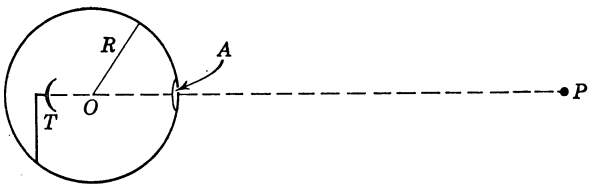


Fig. 1. Una esfera metálica hueca con centro en O y radio $R = 0.50$ m tiene una carga $Q = -6.25 \times 10^{12}$ cargas elementales. El blanco T está colocado dentro de la esfera. Los protones parten de P, a partir del reposo, acelerándose hacia la abertura en A, entrando en la esfera y dando en el blanco. P está a 5 metros del centro de la esfera.

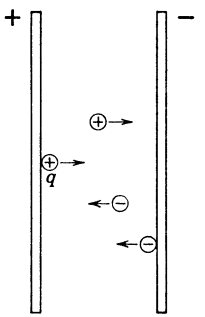


Fig. 2. Vista de perfil de dos placas paralelas con cargas iguales y opuestas; el espacio entre las placas está al vacío.

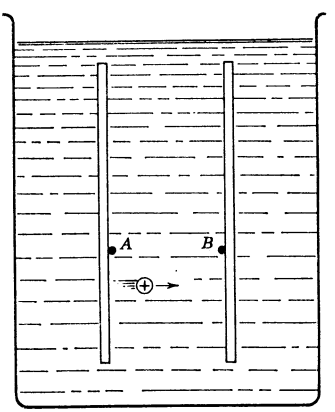
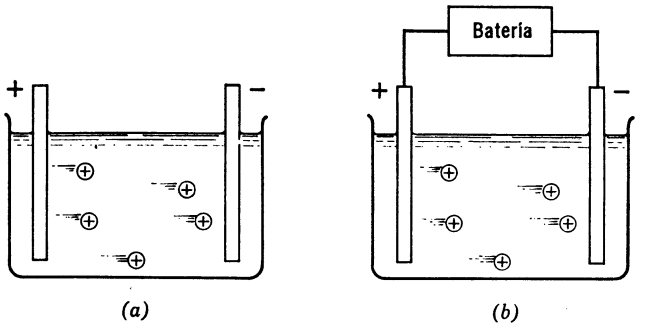


Fig. 3. Las placas paralelas descritas en la Fig. 2, pero sumergidas en un líquido conductor.



(a) (b)

Fig. 1

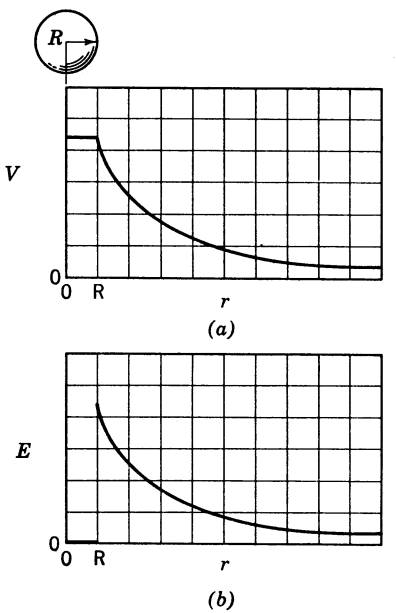


Fig. 2

1. Suponga que la carga positiva en un átomo está distribuida sobre la superficie de una esfera con un radio aproximado de 10^{-10} m. Suponga que el átomo, visto desde el exterior, aparenta ser neutral, porque en su superficie sólo se han depositado los electrones necesarios para anular su carga positiva.

Suponiendo que este modelo es correcto y despreciando el efecto de los electrones, calcule: (*a*) la magnitud del campo eléctrico en la superficie de un átomo de oro, si sabemos que la carga positiva de un átomo de oro está determinada por el hecho de que tiene 79 protones; (*b*) la magnitud del potencial eléctrico en la superficie de un átomo de oro.

2. En el modelo atómico *Rutherford,* o *nuclear,* se supone que la carga positiva no está esparcida en el átomo, sino que, de hecho, está concentrada en una región muy pequeña (llamada *núcleo)* en el centro del átomo. Se estima que el radio de este núcleo es, en el átomo de oro, de aproximadamente 10^{-14} metro. Despreciando el efecto de los electrones, calcule: (*a*) el campo eléctrico en la superficie del núcleo del oro; (*b*) el potencial eléctrico en la misma superficie.

3. Se aplica una diferencia de potencial eléctrico de 90 volts entre dos placas paralelas separadas por una distancia de 3×10^{-3} metro:

(*a*) calcule el campo eléctrico entre las placas.

(*b*) calcule la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de 5×10^{-5} culombio que está a medio camino entre las placas.

(*c*) calcule el potencial eléctrico en un punto a 1.5×10^{-3} metro de la placa negativa.

(*d*) calcule el campo eléctrico entre las placas, si la diferencia de potencial entre ellas se aumenta a 180 voltios, y la distancia que las separa también se aumenta, a 6×10^{-3} metro.

(*e*) una partícula alfa (masa $= 6.7 \times 10^{-27}$ kg; carga $= 2$ cargas elem.) se mueve, a partir del reposo, de la placa positiva y pasa por un pequeño orificio en la placa negativa. Suponga que hay vacío entre las placas y calcule la energía cinética de la partícula alfa después de pasar a través del agujero, si el potencial eléctrico entre las placas es de 2×10^3 volts, y la distancia entre ellas es de 3×10^{-3} m.

(*f*) calcule la rapidez de la partícula alfa después de pasar por el orificio en la placa negativa.

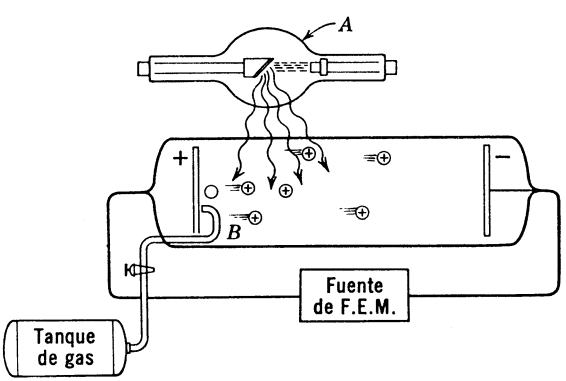


Fig. 1. Los rayos X del tubo A hacen saltar los electrones de los átomos de un gas que se introdujo en B, en el espacio entre las placas.

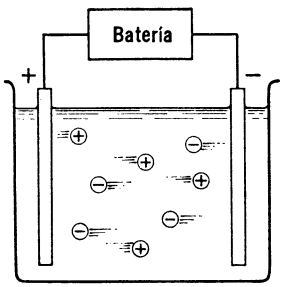


Fig. 2. Está conectada una batería a las dos placas sumergidas en una solución cuyos iones positivos de hidrógeno (H^+) y negativos de cloro (Cl^-) están en libertad de moverse.

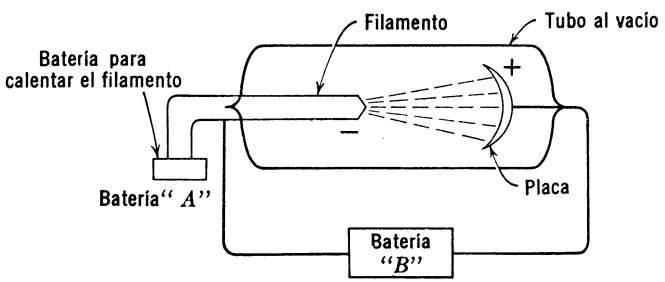


Fig. 3. La batería A calienta el filamento; la batería B suministra el campo eléctrico entre el filamento y la placa.

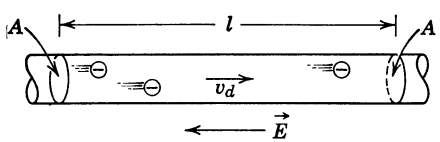
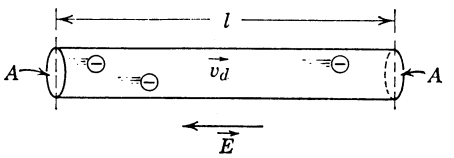


Fig. 4. Los electrones de conducción impelidos a una velocidad media de arrastre v_d y bajo la influencia del campo eléctrico E.



Podemos calcular la velocidad de arrastre de los electrones en un alambre conductor como sigue: Sea i la corriente eléctrica en el alambre; Q es la carga transportada por todos los electrones de conducción, en la longitud l del alambre, con una área de sección transversal A uniforme, y n representa el número de electrones de conducción en la unidad de volumen (por ejemplo, cm^3) de un material (por ejemplo, aluminio, cobre, etc.) de que está hecho el alambre.

Si Q se mide en culombios, es igual al producto $(1.6 \times 10^{-19}) \times n \times$ (volumen del alambre de longitud l). Puesto que el volumen de esta longitud del alambre es lA,

$$Q = 1.6 \times 10^{-19}\, nlA \text{ culombio}$$

Si la carga emplea un tiempo t en pasar por cualquier punto del conductor, entonces:

$$(1) \quad i = \frac{Q}{t} = \frac{1.6 \times 10^{-19} nlA}{t}$$

Pero la rapidez media de arrastre es $v_d = l/t$, o bien: $t = l/v_d$. Sustituyendo a t en (1), obtenemos:

$$(2) \qquad i = (1.6 \times 10^{-19} nAv_d) \text{ cul/s}$$

Despejando en (2) la rapidez de arrastre electrónica,

$$(3) \quad v_d = \frac{i}{1.6 \times 10^{-19} nA}$$

donde v_d está en cm/s si n es el número de electrones de conducción por centímetro cúbico.

La corriente y el área de la sección transversal se miden fácilmente, y n puede calcularse con el peso atómico y la densidad del material del alambre. Para alambre de cobre con un diámetro aproximado de 0.16 cm transportando una corriente de 10 amp, $v_d \approx 10^{-2}$ cm/s. Compare este valor con la rapidez *al azar* de los electrones libres, medida, que es $\approx 10^8$ cm/s.

Tabla 1. Se realizó un experimento para comparar las resistencias eléctricas de longitudes *iguales* de alambres de aluminio, cobre y acero. Todas las muestras tienen la misma sección. Todas las partes del experimento están controladas en tal forma que la temperatura del alambre en todo momento es de 20°C. Los resultados se resumen como sigue:

Material	Longitud (m)	Sección (m^2)	Temperatura (°C)	Resistencia (ohmios)
Aluminio	1	2×10^{-6}	20	1.4×10^{-2}
Cobre	1	2×10^{-6}	20	0.9×10^{-2}
Acero	1	2×10^{-6}	20	9×10^{-2}

Tabla 2. Resistividad de conductores comunes, en ohmio-metro, a 20°C:

Aluminio	2.8×10^{-8}
Cobre	1.7×10^{-8}
Carbón	3.5×10^{-5}
Hierro	1.0×10^{-7}
Níquel	7.8×10^{-8}
Plata	1.6×10^{-8}
Acero	1.8×10^{-7}
Tungsteno	5.6×10^{-8}

1. Calcule la resistencia eléctrica en ohmios, de 30 m de alambre de cobre con una sección de 5×10^{-6} m^2. Suponga una temperatura ambiente de 20°C.

2. La sección de una muestra de alambre de acero es 2×10^{-6} m^2; su resistencia se mide a los 20°C y resulta ser de 50 ohmios. ¿Cuál es la longitud del alambre?

3. Se usan 100 m de alambre de aluminio para transportar una corriente de 2×10^{-3} amp entre dos puntos con una diferencia de potencial eléctrico de 1 500 volts. Suponga una temperatura ambiente. ¿Cuál es la sección del alambre?

4. Calcule la resistencia eléctrica de 10 cm de alambre de plata que tiene una sección de 0.5 mm^2. Suponga una temperatura aproximada de 20°C.

5. La resistencia de una muestra de alambre de 25 m de largo es 1 500 ohmios. ¿Cuál es la resistencia de una muestra del mismo alambre, de 75 m de largo, si la sección es la misma y no hay cambio en la temperatura?

6. Una muestra de alambre de 90 m de largo con una resistencia de 50 ohmios tiene una sección de 4×10^{-6} m^2. Calcule la resistencia de otra muestra del mismo material y longitud y con una sección de 2×10^{-6} m^2. Ambas resistencias se miden a 0°C.

7. Una muestra de alambre de 2 m de largo con una sección de 2×10^{-6} m^2 tiene una resistencia de 5 ohmios. ¿Cuál es la resistencia de una muestra de alambre del mismo material, de 100 m de largo y con una sección de 5×10^{-6} m^2, a la misma temperatura?

8. Los extremos de un alambre de cobre de 10 m de largo y una sección de 2×10^{-6} m^2, están conectados a las terminales de una batería; la diferencia de potencial suministrada por la batería es 6 volts. Calcule la potencia empleada.

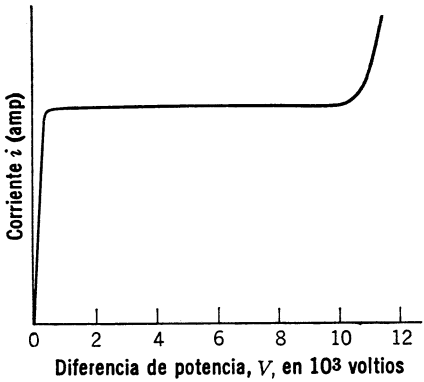


Fig. 1. Gráfica que indica la forma en que varía la corriente, con la diferencia de potencial aplicada entre las placas de un tubo que contiene un gas como el argón (vea la Fig. 1 del Panel 21).

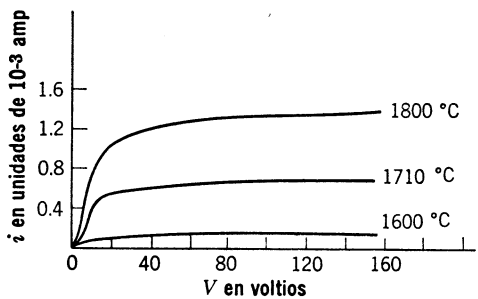


Fig. 2. Esta gráfica muestra la forma en que varía la corriente, con la diferencia de potencial aplicada entre una *placa* y un *filamento* calentado (vea la Fig. 3 del Panel 21). Cada curva representa la curva *i-V* para una temperatura de filamento diferente.

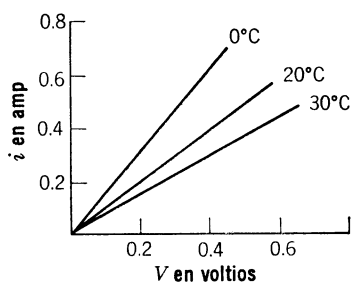


Fig. 3. Gráfica que muestra cómo varía la corriente en un alambre conductor con una diferencia de potencial en sus extremos (vea la Fig. 4 del Panel 21). Cada línea representa la interrelación *i-V* para una temperatura diferente.

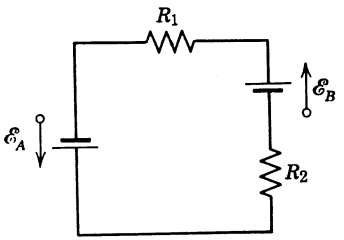


Fig. 1

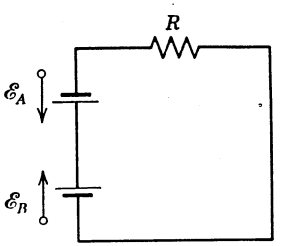


Fig. 2

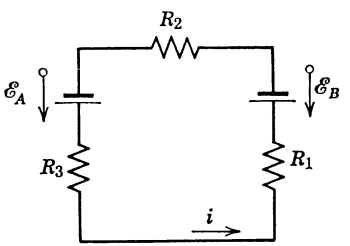


Fig. 3

Panel 27

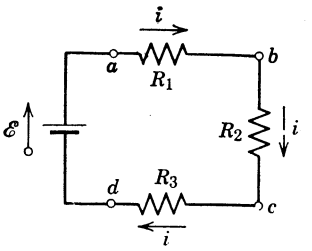


Fig. 1

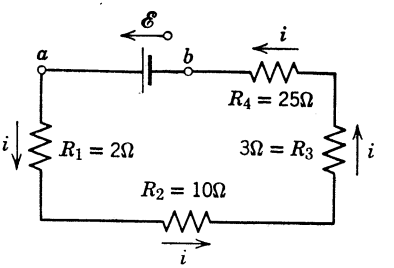


Fig. 2

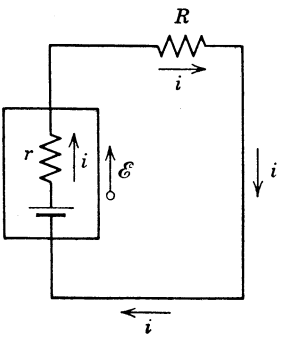


Fig. 3

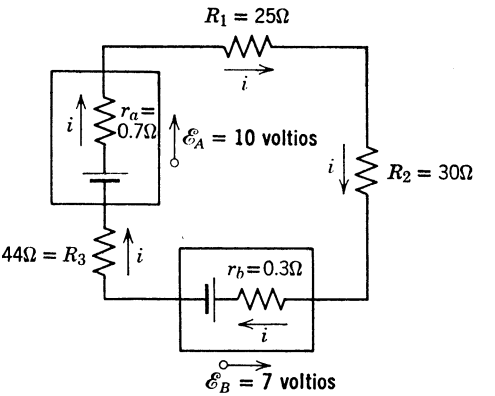


Fig. 4

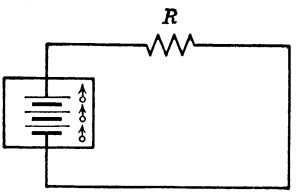


Fig. 5

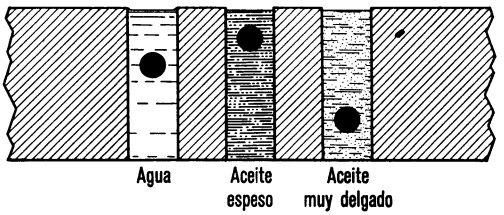


Fig. 1

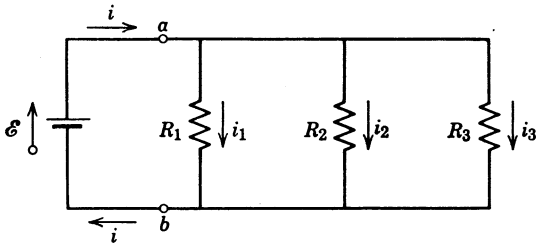


Fig. 2

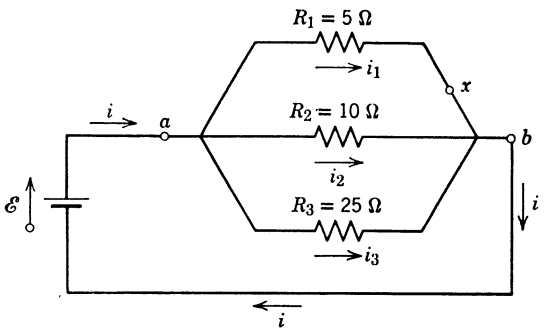


Fig. 3

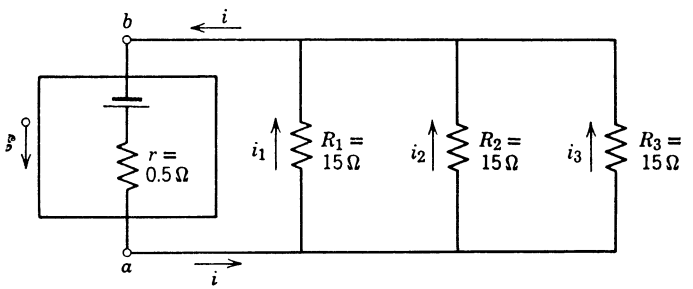
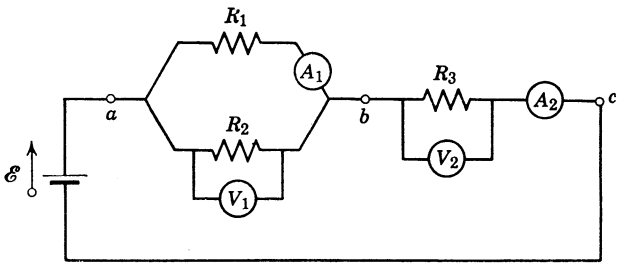


Fig. 4

1. Se conectan en serie tres resistencias cuyos valores son 2, 4 y 8 ohmios; la diferencia de potencial total entre la serie es de 70 volts. (*a*) calcule la resistencia combinada; (*b*) calcule la corriente en la resistencia de 8 ohmios; (*c*) calcule la diferencia de potencial en la resistencia de 4 ohmios; (*d*) si al circuito se agrega una resistencia de 14 ohmios, en serie con las tres primeras, ¿cómo afecta a las respuestas (*a*), (*b*) y (*c*) anteriores?

2. Las tres primeras resistencias del problema anterior se conectan en paralelo y se le aplica una diferencia de potencial de 70 volts a este nuevo sietema. (*a*) ¿cuál es la resistencia combinada?, (*b*) ¿cuál es la corriente en la resistencia de 8 ohmios?, (*c*) ¿cuál es la diferencia de potencial en la resistencia de 4 ohmios?, (*d*) si a este circuito se agrega una resistencia de 14 ohmios, en paralelo con las demás, ¿cómo afecta esto, a las respuestas (*a*), (*b*) y (*c*) anteriores?



3.

Dados: $\mathcal{E} = 45$ voltios
$R_1 = 6\ \Omega$
$R_2 = 3\ \Omega$
$R_3 = 5\ \Omega$
$V_{ab} = 12$ voltios

Encontrar:

(*a*) la lectura en voltios, en —(V)—
(*b*) la lectura en amperios, en —(A)—
(*c*) la lectura en voltios, en —(V)—
(*d*) la lectura en amperios, en —(A)—
(*e*) el voltaje en las terminales de la batería.
(*f*) la diferencia de potencial a través de la resistencia interna de la batería.

Panel 30

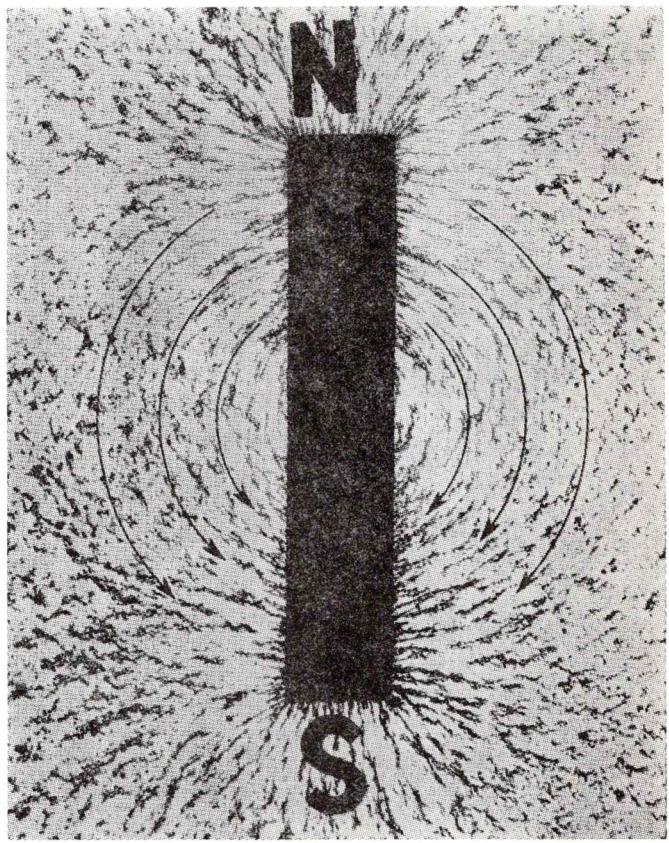


Fig. 1. Disposición que adopta el campo magnético de una barra imantada, cuando se coloca sobre el imán un vidrio plano y sobre éste se esparcen pequeñas limaduras de hierro.

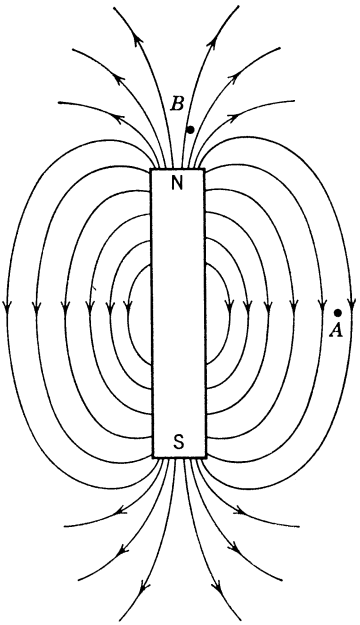


Fig. 2

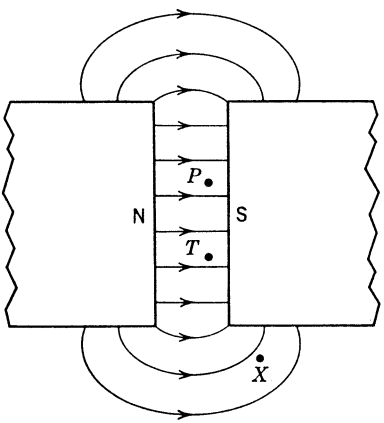


Fig. 3

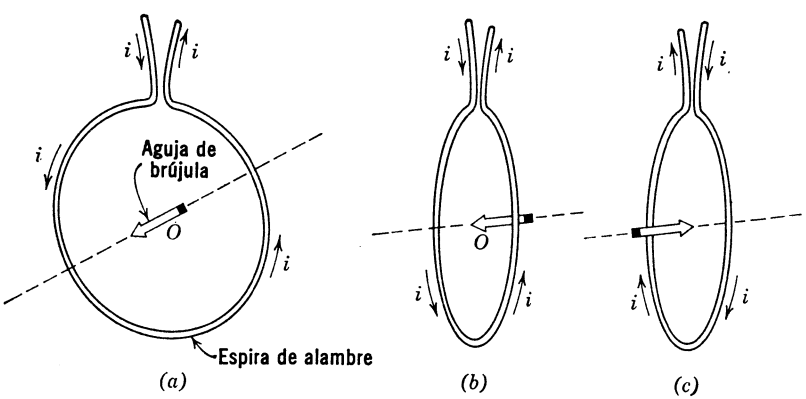


Fig. 1

Fig. 2(*a*) Fotografía de la disposición que adoptan las limaduras de hierro cuando fluye una corriente por un alambre recto y largo.

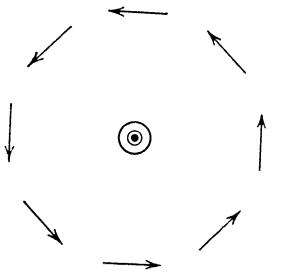


Fig. 2(*b*) Agujas de brújula en el espacio que rodea a un alambre recto y largo por el que fluye una corriente hacia afuera de la página.

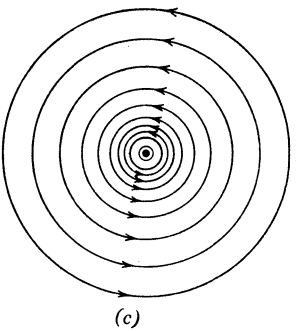


Fig. 2(*c*) Líneas de campo magnético alrededor de un alambre recto y largo que transporta una corriente hacia afuera de la página.

Panel 32

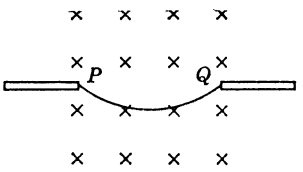


Fig. 1

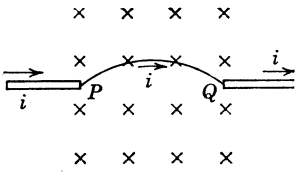


Fig. 2

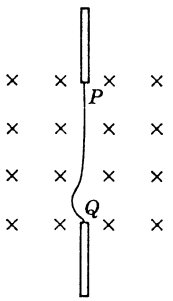


Fig. 3

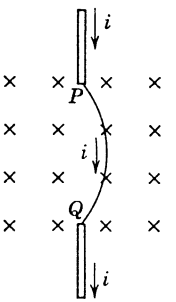


Fig. 4

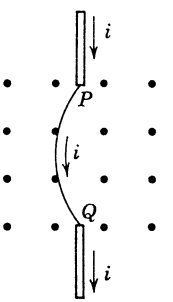


Fig. 5

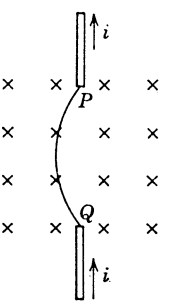


Fig. 6

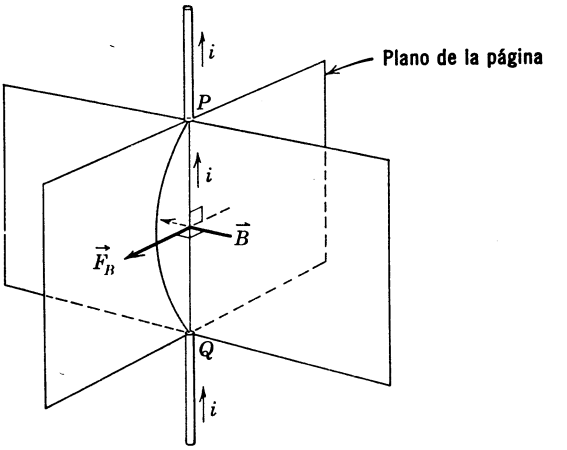


Fig. 1

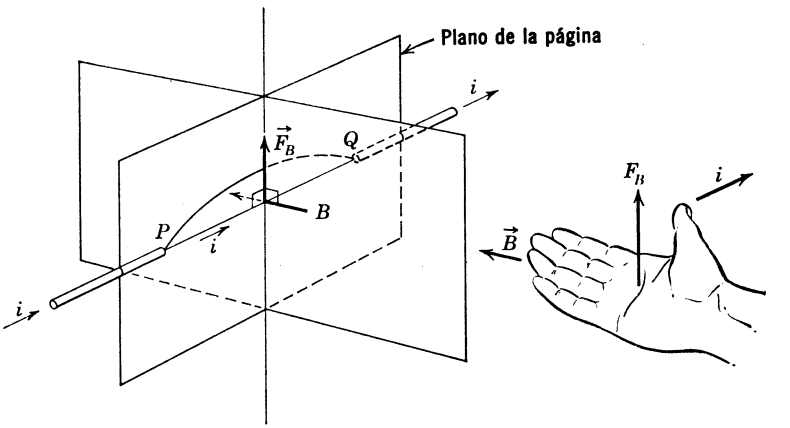


Fig. 2

Regla de la mano derecha para la dirección de $\vec{F}_B$ aplicada a la Fig. 2 de arriba. Se extiende la mano derecha en tal forma que los dedos apunten en la dirección de $\vec{B}$, y el pulgar en la dirección de i; entonces la dirección de $\vec{F}_B$, estando perpendicular a ambos, *se aleja* de la palma de la mano.

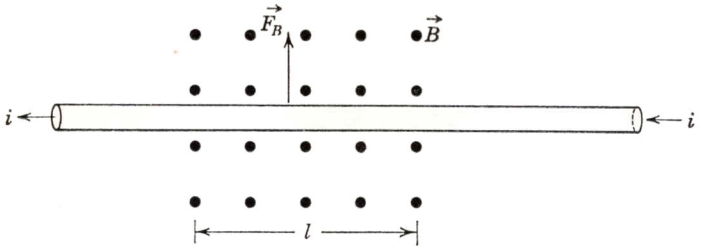


Fig. 1

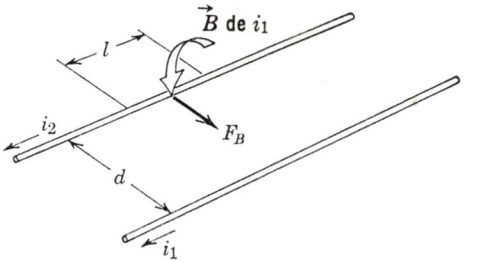


Fig. 2

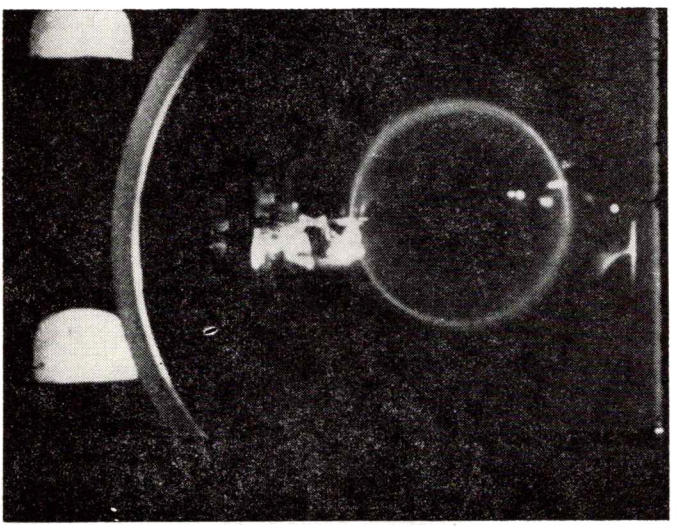


Fig. 3. El efecto de un campo magnético uniforme, sobre la trayectoria que sigue un haz de electrones. Los electrones parten de la izquierda y giran en el campo, en el sentido de las manecillas del reloj.

Panel 35

1. En la Fig. 1, las espiras 2 y 3 están en el mismo plano, que es perpendicular al de la espira 1. La espira 1 está en el plano de la página. $R_1 = R_2 = 25$ cm; $R_3 = 10$ cm. (*a*) calcule el campo resultante en el centro, O, si $i_3 = i_2 = \mathbf{10}$ amp y no hay corriente en la espira 1. (*b*) calcule la magnitud del campo resultante en O, si $i_1 = i_2 = i_3 = 10$ amp.

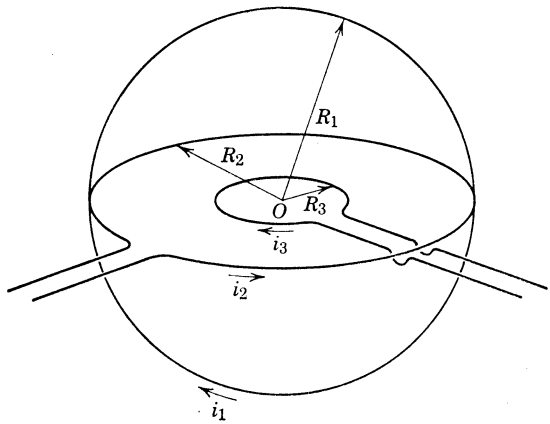


Fig. 1

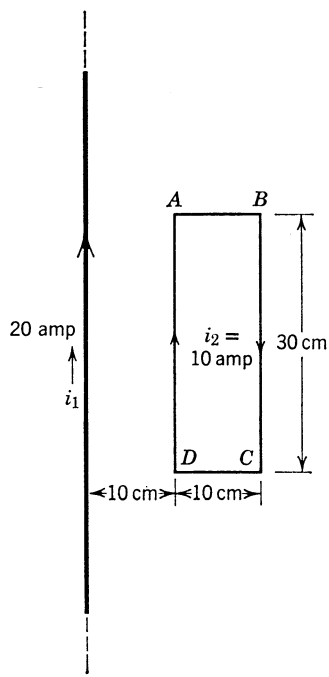


Fig. 2

2. Calcule la magnitud y la dirección de la fuerza magnética resultante sobre esta espira conductora rectangular (Fig. 2).

3. En la Fig. 3, un electrón entra a un campo magnético uniforme. Su rapidez es de 4×10^7 m/s y la magnitud del campo B es 1×10^{-2} newton/amp-m. Calcule la magnitud de la fuerza magnética sobre este electrón; describa cómo se moverá bajo la influencia de este campo (use una masa para el electrón de 9×10^{-31} kg).

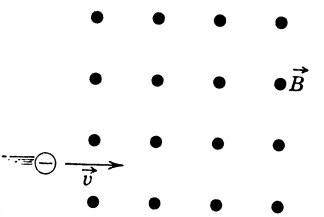


Fig. 3

4. En la Fig. 4, una partícula Q cargada positivamente, entra al espacio entre dos grandes placas paralelas con cargas iguales y opuestas; hay un campo magnético (representado por las cruces) dirigido hacia adentro de la página y perpendicular al campo eléctrico. Calcule la rapidez v con la que Q *no se desviará* al moverse entre las placas. Se conocen $E = 1.5 \times 10^3$ newton/culombio, y $B = 2.0 \times 10^{-2}$ newton/amp-m.

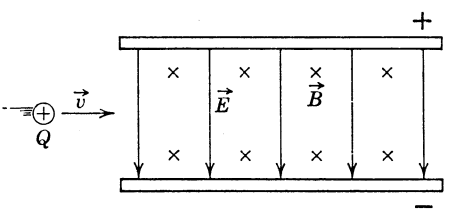


Fig. 4

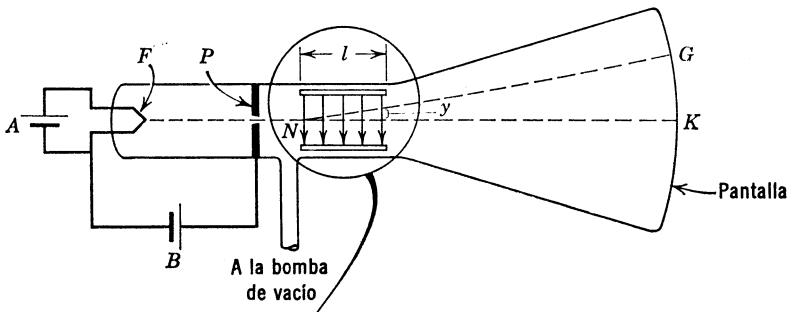


Fig. 1

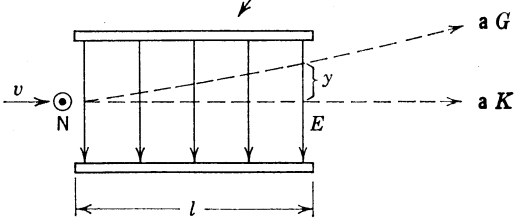


Fig. 2

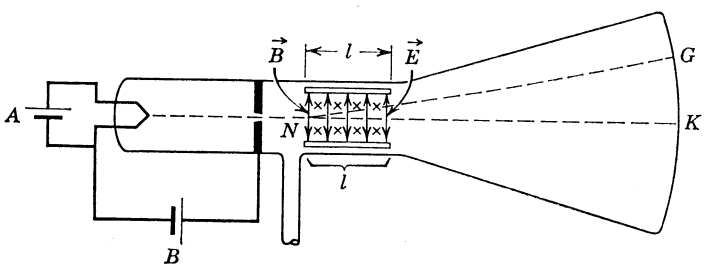


Fig. 3. El experimento de Thomson. Cuando E y B valen cero, el haz sin desviación choca con la pantalla en K. Cuando B vale cero y existe un campo E en el espacio entre las placas, el haz electrónico es desviado a G; entonces se aplica un campo magnético B y se ajusta hasta que el haz nuevamente toca a la pantalla en K.

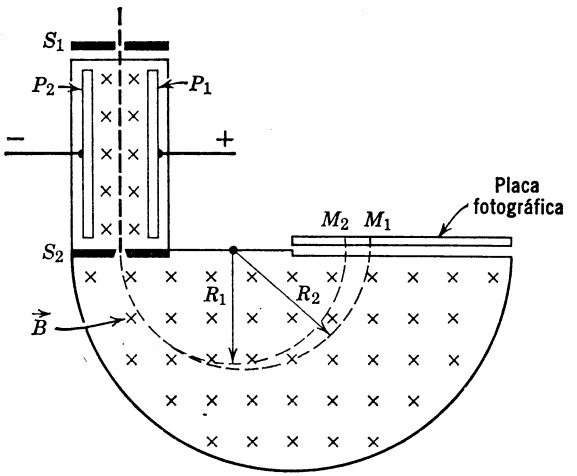


Fig. 1. El espectrómetro de masa. Los iones cargados positivamente entran por S_1, procedentes de una cámara situada arriba (no se ilustra aquí), donde los átomos de un elemento son transformados en iones positivos.

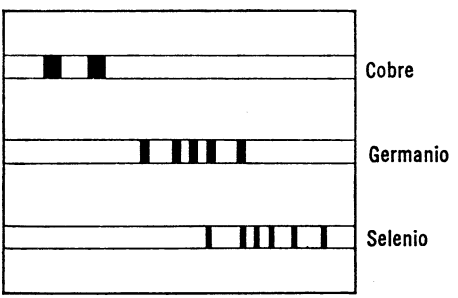


Fig. 2. Fotografías de espectros de masa, para isótopos de cobre, germanio y selenio.

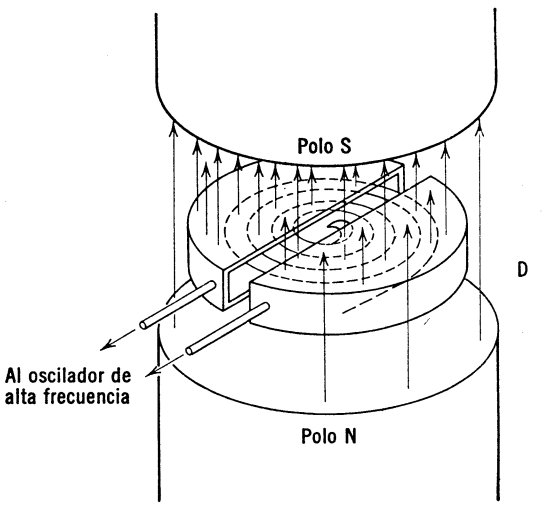


Fig. 1. El ciclotrón. Se ven dos semicilindros (Des) huecos de metal (como aluminio o cobre), a través de los cuales puede pasar sin deformación, un campo magnético uniforme. Las Des se conectan a una fuente fem (no ilustrada) llamada oscilador de alta frecuencia. La función del oscilador es la de alternar periódicamente las cargas eléctricas en las Des. La espiral de trazos en la figura, representa la trayectoria de un ion en el ciclotrón.

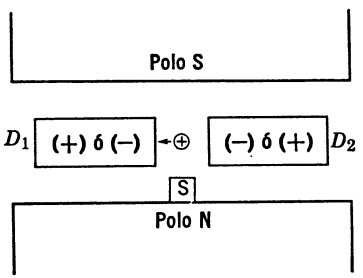


Fig. 2. Vista lateral del ciclotrón de la Fig. 1. *S* es una fuente de iones para el ciclotrón.

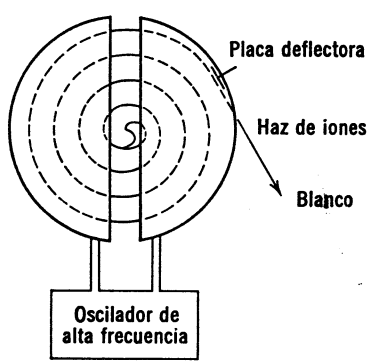


Fig. 3. Vista superior de las Des, a través del polo *S* del imán del ciclotrón, mostrando la placa deflectora que se emplea para remover iones del ciclotrón.

Estas figuras representan dos tiras planas de lámina de cobre que transportan una corriente en la dirección indicada. Las cruces representan un campo magnético uniforme, en el que se ha introducido la lámina. En la Fig. 1 se muestra una partícula cargada positivamente, moviéndose hacia abajo, que es la dirección en que se moverían los portadores de cargas positivas, si fueran de hecho responsables de la corriente eléctrica *i*. En la Fig. 2 se muestra una partícula cargada negativamente en movimiento hacia arriba.

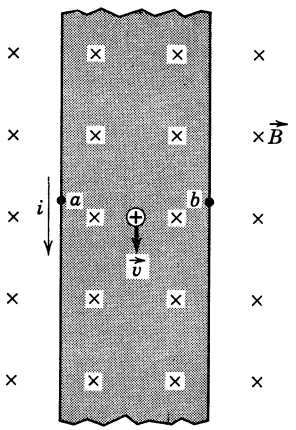


Fig. 1

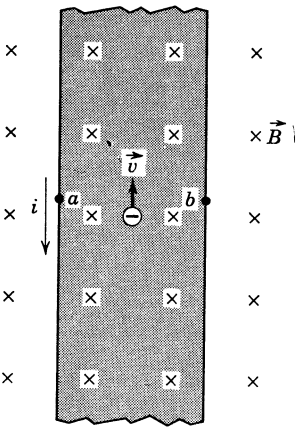


Fig. 2

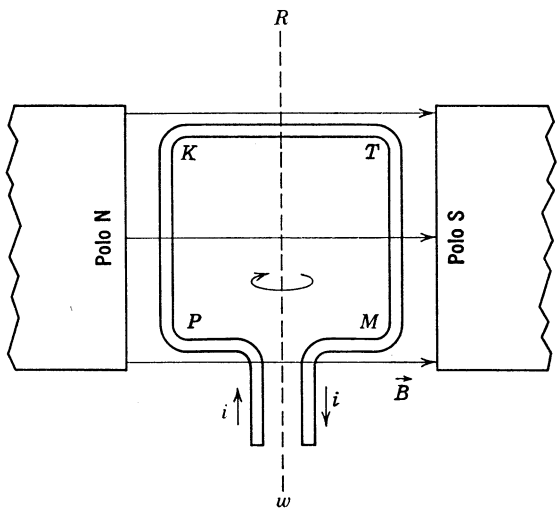


Fig. 1

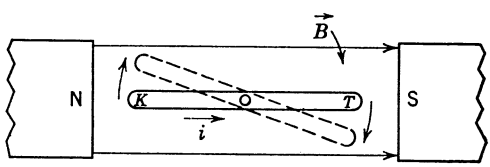


Fig. 2. Vista de la Fig. 1, mirando desde *R*.

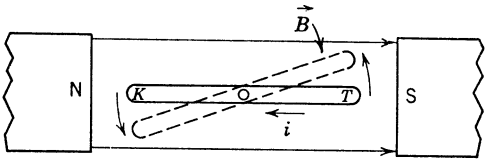


Fig. 3

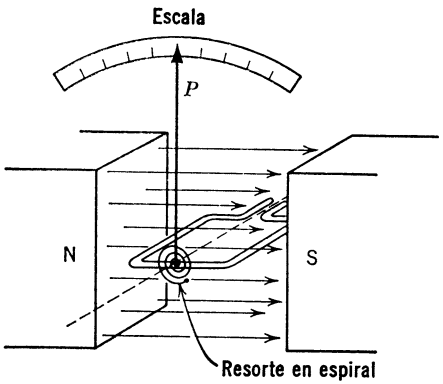


Fig. 4

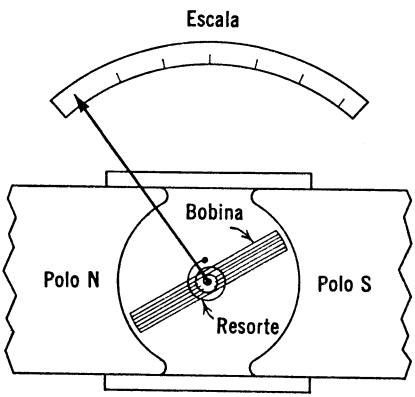
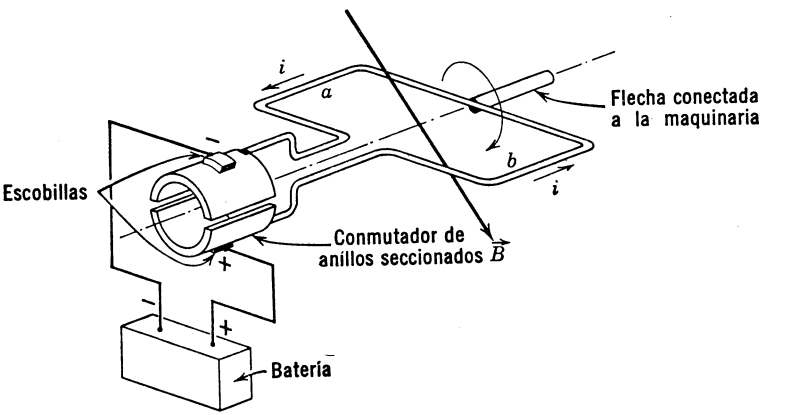


Fig. 5

Panel 41

Este es un dibujo esquemático de un motor eléctrico elemental. $\vec{B}$ representa un campo magnético uniforme, a través del cual gira la espira. Note los dos semianillos (que en conjunto se llaman conmutador de anillo seccionado) unidos a los extremos de la espira y girando con ella. Los contactos, que se llaman *escobillas,* descansan en los anillos y suministran a la espira la corriente procedente de una batería. Las escobillas no giran, sino que permanecen fijas mientras el conmutador gira bajo ellas.



Panel 42

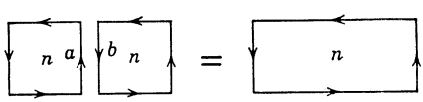


Fig. 1

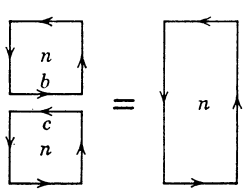


Fig. 2

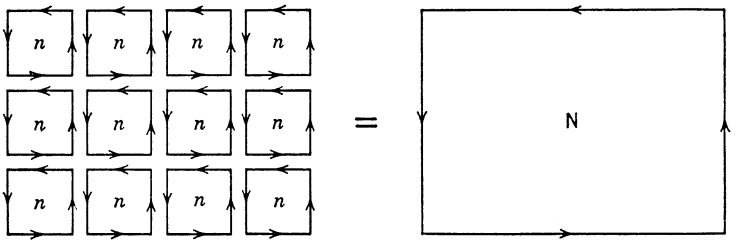


Fig. 3

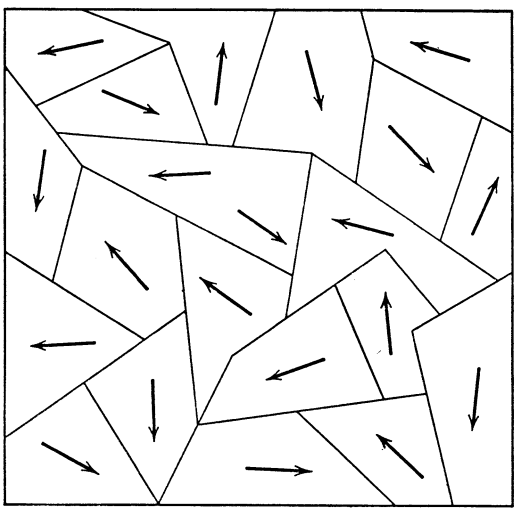


Fig. 4. Dominios magnéticos en una muestra *no imantada* de material ferromagnético. Las dimensiones de cada dominio son de aproximadamente 10^{-5} m.

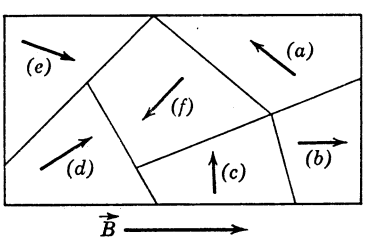


Fig. 5

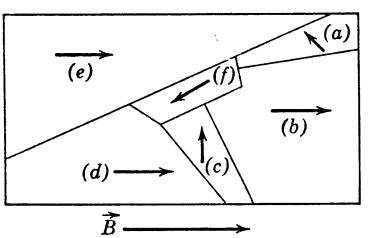


Fig. 6

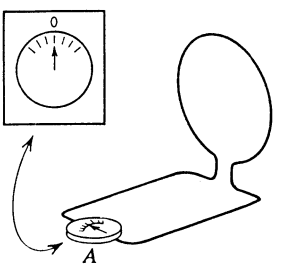


Fig. 1

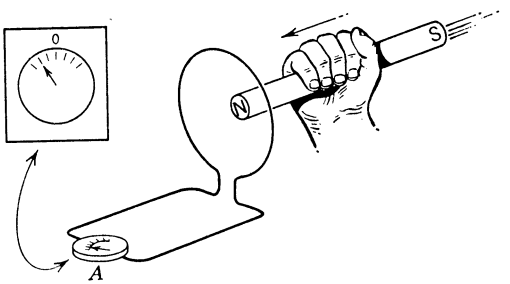


Fig. 2

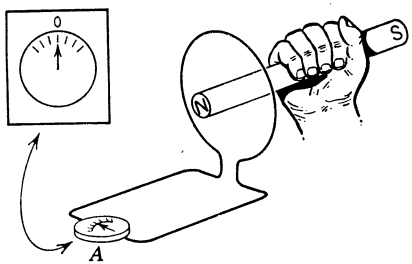


Fig. 3

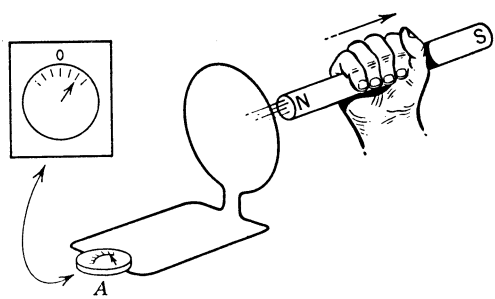


Fig. 4

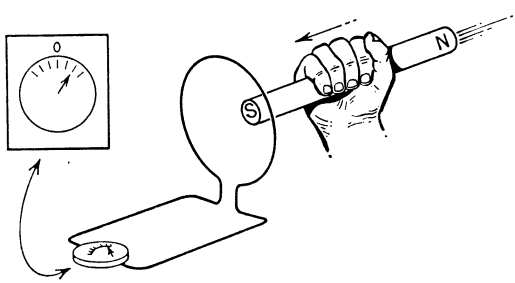


Fig. 5

Panel 44

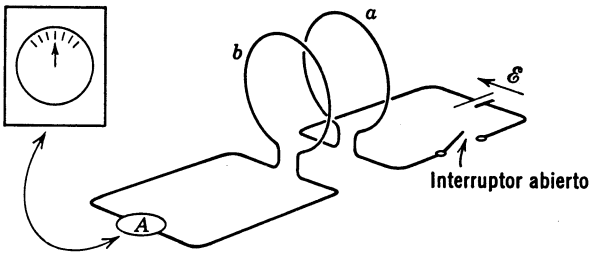


Fig. 1

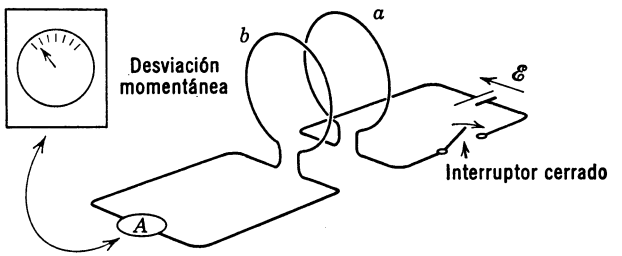


Fig. 2

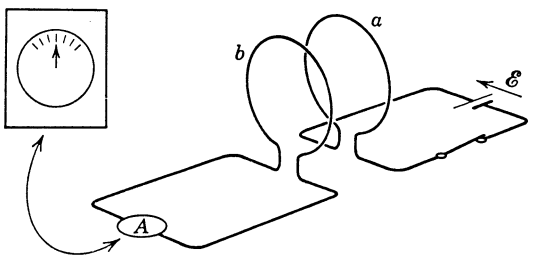


Fig. 3

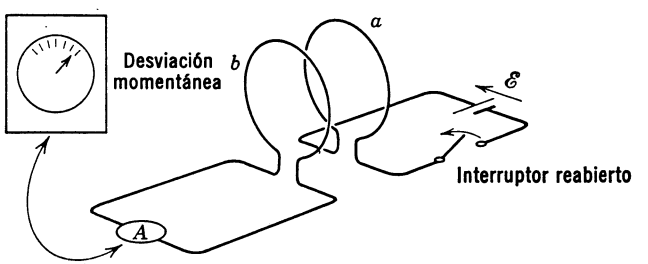


Fig. 4

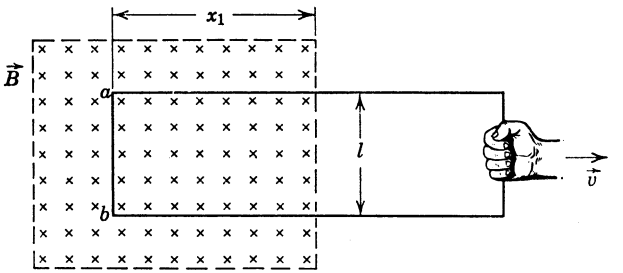


Fig. 1

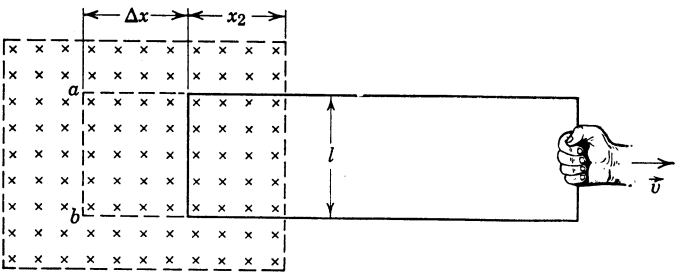


Fig. 2

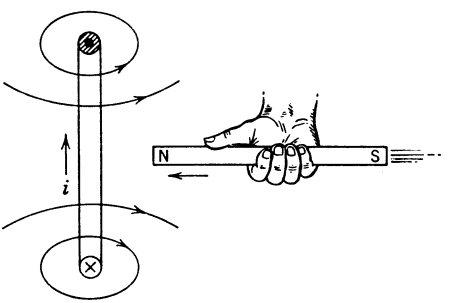


Fig. 3

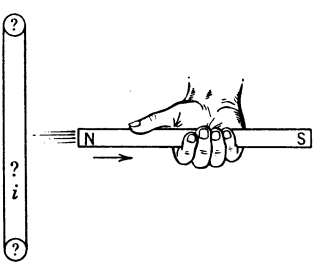
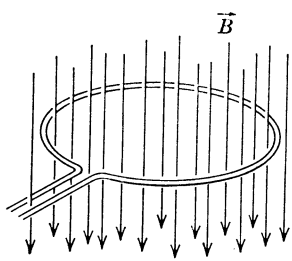
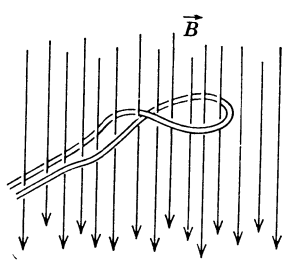


Fig. 4



(a)



(b)

Fig. 1

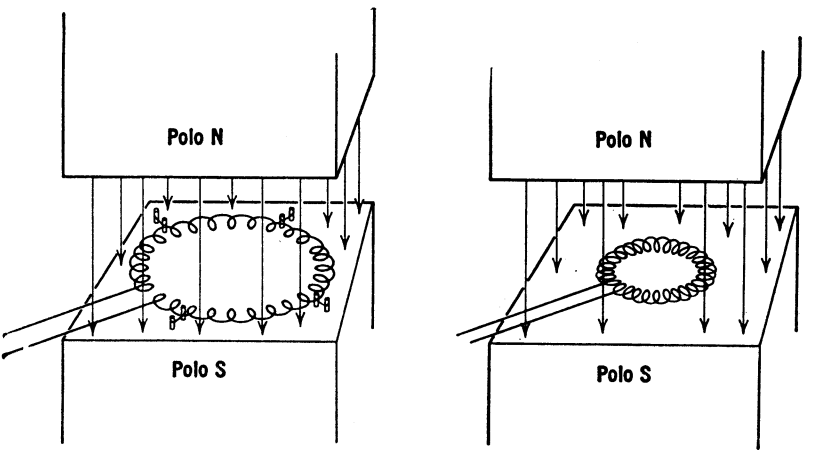


Fig. 2

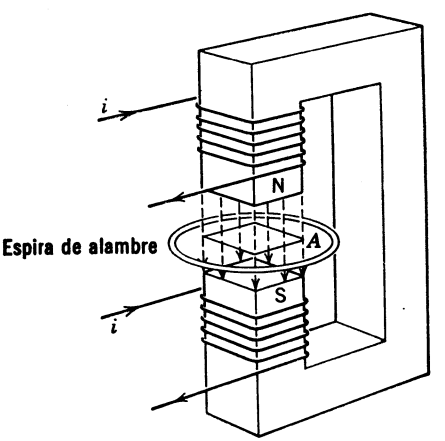


Fig. 3

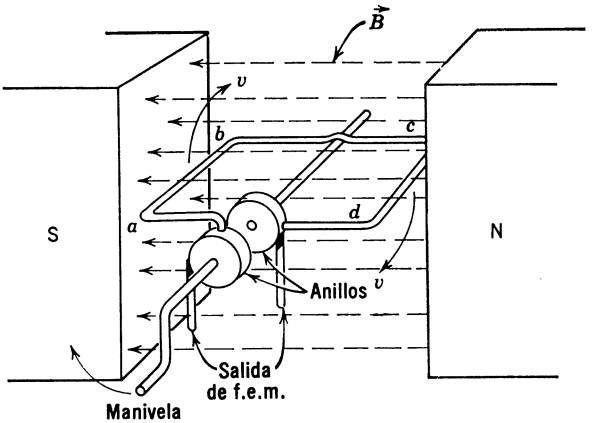


Fig. 1

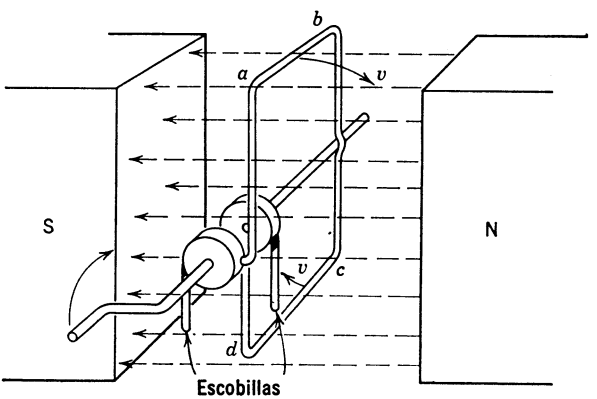


Fig. 2

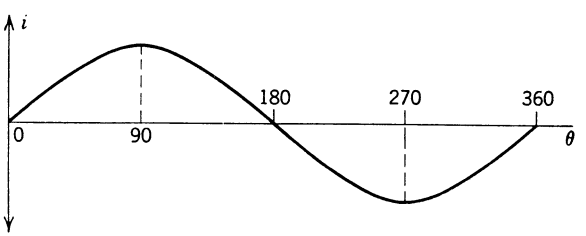


Fig. 3

(Use $\pi = 3.14$, cuando sea necesario)

1. Una bobina plana rectangular de 0.1 m de ancho y 0.25 m de largo se compone de 50 vueltas de alambre y gira con una rapidez de 2 400 revoluciones por minuto, dentro de un campo magnético de 2×10^{-2} newton/amp-m. Calcule la fem inducida máxima.

2. Una bobina circular con un radio de 0.05 m gira con una rapidez de 1 800 revoluciones por minuto en un campo magnético de 5×10^{-1} newton/amp-m. ¿Cuántas vueltas de alambre se requieren en la espira, si su fem inducida máxima ha de ser de 10 volts?

3. El primario de un transformador tiene 600 vueltas y está conectado a las terminales de una línea de corriente alterna de 120 volts. Si la bobina secundaria debe suministrar en sus terminales una diferencia de potencial de 5 volts y una corriente de 2.8 amperios, encuentre: (*a*) el número de vueltas en el secundario, y (*b*) la corriente en el primario.

4. En la dona de un betatrón gira un electrón con una rapidez de 2.8×10^8 m/s. Esta es muy cercana a la de propagación de la luz y, por lo tanto, es relativamente constante. El radio de la dona es de 0.50 m, el incremento de flujo magnético a través del agujero de la dona es de 25 newton-m/amperio por segundo, y la corriente en el primario aumenta 1/250 por segundo. Calcule la energía total que el betatrón transfiere, en este tiempo, a un solo electrón.

Panel 49

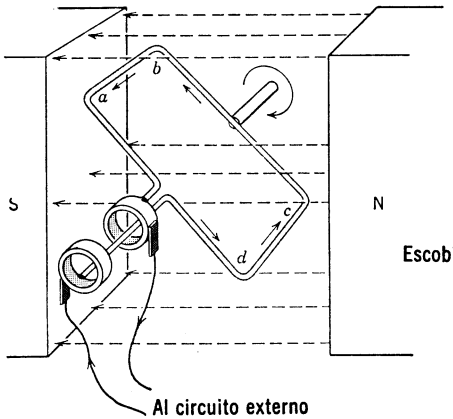


Fig. 1. Dibujo esquemático de un *generador eléctrico* mostrando los anillos deslizantes y las escobillas.

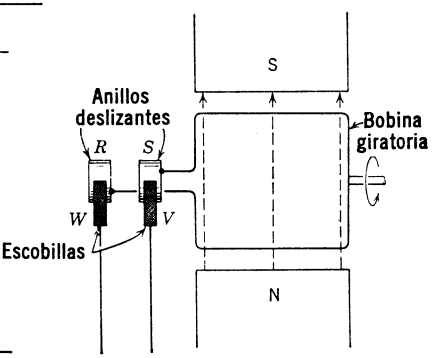


Fig. 2. La Fig. 1 vista desde arriba.

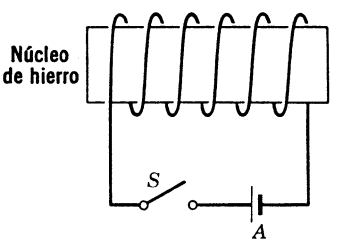

Núcleo
de hierro
S
A

Fig. 1

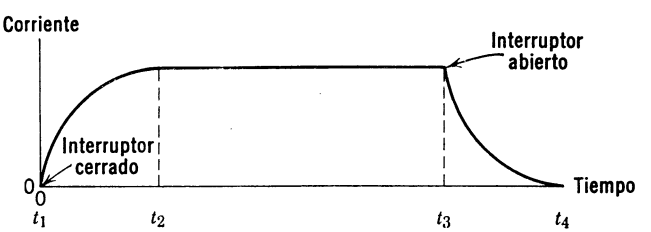

Corriente
Interruptor
abierto
Interruptor
cerrado
0
0
Tiempo
t_1
t_2
t_3
t_4

Fig. 2

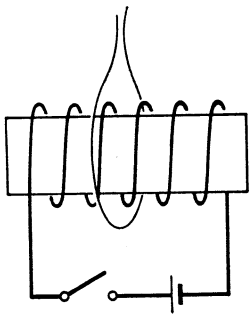


Fig. 3

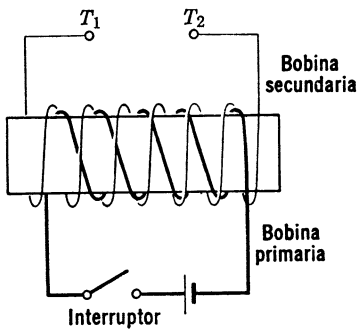


Fig. 4. Una bobina de inducción sencilla.

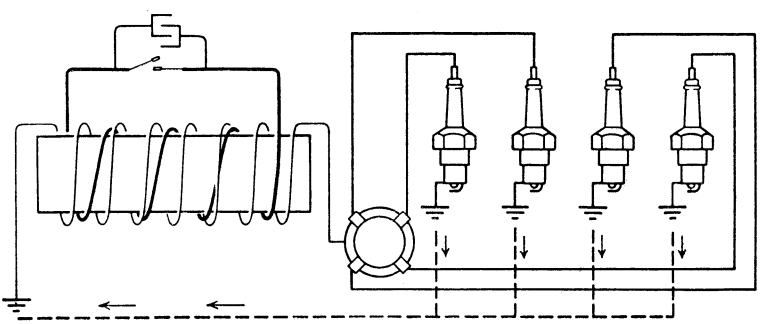


Fig. 5

Panel 51

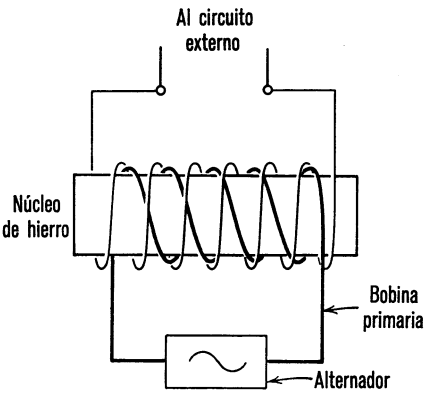


Fig. 1. Un transformador.

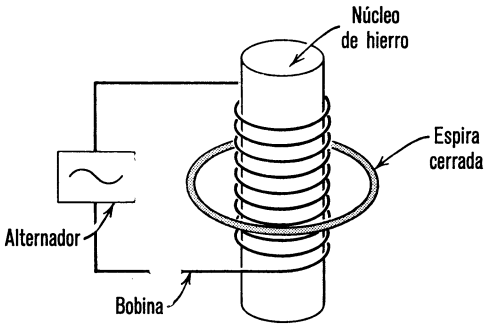


Fig. 2

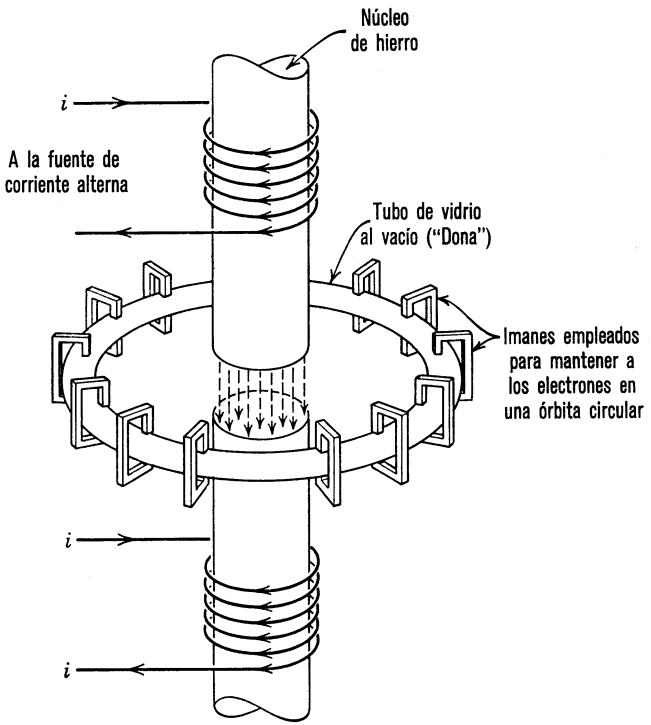


Fig. 3. El betatrón.

Fig. 1

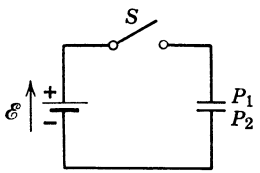


Fig. 2

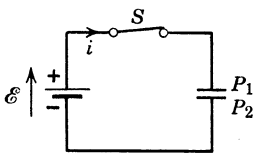


Fig. 3

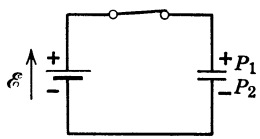
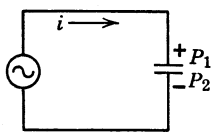
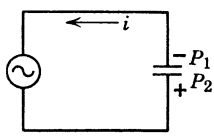


Fig. 4



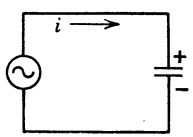
$\frac{1}{120}$ de seg después

Fig. 5



$\frac{1}{120}$ de seg después

Fig. 6



y así sucesivamente

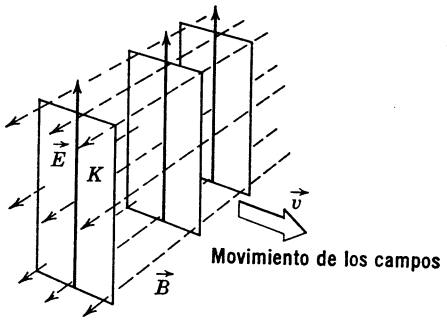


Fig. 1

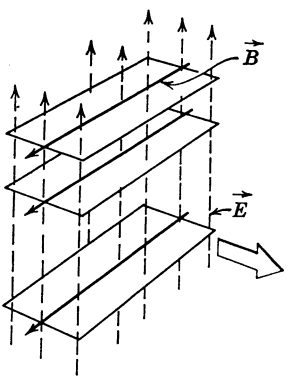


Fig. 2

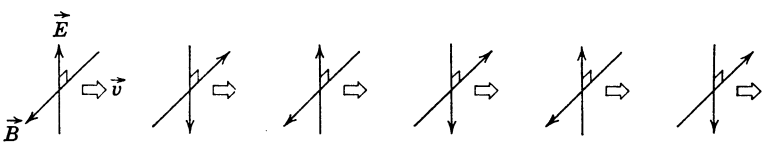


Fig. 3

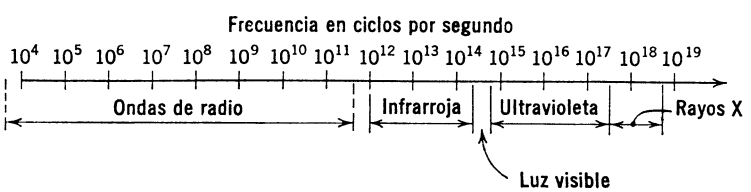
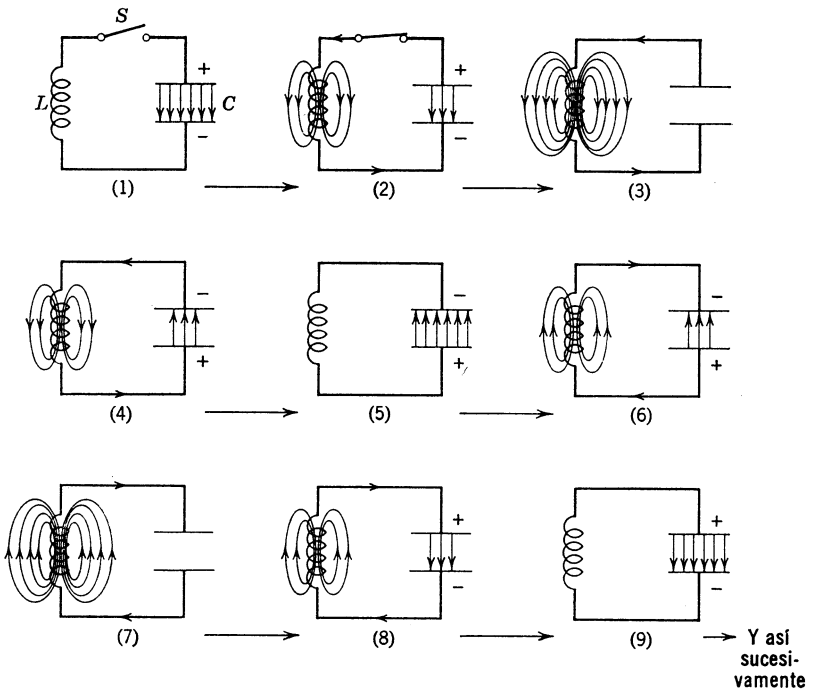


Fig. 4


S
L
C
+
−
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
(7)
(8)
(9)
Y así sucesivamente

Protector de respuestas

SIMBOLOS USADOS EN EL TEXTO:

- $=$ igual a
- $\neq$ diferente de
- $\approx$ aproximadamente igual a
- $>$ mayor que
- $<$ menor que
- $\propto$ proporcional a
- $\rightarrow$ tiende a (v. g.: cuando $x \rightarrow 0$, $y \rightarrow 3$).
- ∞ infinito, infinitamente grande, aumentando sin límite
- $\angle$ ángulo
- $\triangle$ triángulo

CONSTANTES FISICAS:

1 metro = 39.37 pulgadas
1 Angstrom (Å) $= 10^{-10}$ m
Rapidez de propagación de la luz en el vacío:
$c = 3 \times 10^8$ m/seg.
Constante de la Ley de Coulomb:

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{newton} \times \text{m}^2}{(\text{cul})^2}$$

$$= 2.3 \times 10^{-28} \frac{\text{newton} \times \text{m}^2}{(\text{carga elemental})^2}$$

Constante de campo magnético:

$$k = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{newton}}{(\text{amp})^2}$$

(para un alambre recto y largo)
1 culombio $= 6.25 \times 10^{18}$ cargas elementales;
1 carga elemental $= 1.6 \times 10^{-19}$ culombios.

FORMULAS MATEMATICAS:

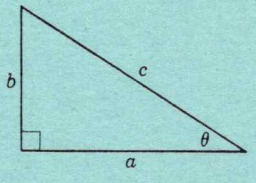
Fórmula cuadrática:
Si: $ax^2 + bx + c = 0$,

$$\text{entonces, } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Variación directa simple:
$y = kx$
Variación inversa simple:
$xy = k$
Teorema de Pitágoras:
$c^2 = a^2 + b^2$

CONSTANTES NUMERICAS UTILES:

$\pi = 3.14$
$\sqrt{2} = 1.414$
$\sqrt{3} = 1.732$
$\sqrt{5} = 2.236$



$$\text{sen } \theta = \frac{b}{c}$$

$$\cos \theta = \frac{a}{c}$$

$$\tan \theta = \frac{b}{a}$$

FORMULAS DE FISICA:

Cargas puntuales: $F = k\dfrac{Qq}{r^2}$

$$E = \frac{F}{q} = k\frac{Q}{r^2}$$

$$U = k\frac{Qq}{r}$$

$$V = \frac{U}{q} = \frac{kQ}{r}$$

Placas paralelas: $F = Eq$

$V = Ed$

$\frac{1}{2}mv^2 = Eqd = Vq$

Corriente eléctrica: $i = \dfrac{Q}{t}$

Resistencia eléctrica: $R = \rho\dfrac{l}{A}$

$$R = \frac{V}{i}$$

Circuitos en serie:

$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$

$V = iR_1 + iR_2 + iR_3 + \cdots$

Circuitos en paralelo:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

$$i = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \cdots$$

Potencia: $P = iV = i^2R = \dfrac{V^2}{R}$

Campos y fuerzas magnéticos:

$B_{\text{para un conductor rectilíneo}} = k\dfrac{i}{d}$

$$F_B = Bil = Bvq$$

$$F = k\frac{i_1 i_2 l}{d}$$

Inducción electromagnética:

$$\mathcal{E} = Bvl = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

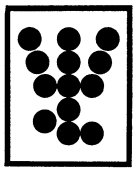
Impedancia: $Z = \sqrt{(X_L - X_c)^2 + R^2}$

Ley de Ohm para circuitos de corriente alterna: $i = \dfrac{V}{Z}$

FISICA PROGRAMADA

Alexander Joseph y Daniel J. Leahy

VOLUMEN I: Mecánica
VOLUMEN II: Electricidad y Magnetismo
VOLUMEN III: Optica y Ondas
VOLUMEN IV: Teoría Cinética y Termodinámica
VOLUMEN V: Tópicos de Física Moderna



Serie Limusa Wiley de
LIBROS PROGRAMADOS

DIRECTOR

MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO

DOCTORADO EN INGENIERIA EN EL
INSTITUTO TECNOLOGICO DE MASSACHUSETTS

Versión autorizada en español de la edición
publicada en inglés, por John Wiley & Sons,
Inc., N. Y., bajo el título
PROGRAMMED PHYSICS PART II: *Electricity and Magnetism*

© 1965 JOHN WILEY & SONS, INC., N. Y.

Versión española:
DR. MELCHOR RODRIGUEZ CABALLERO
Profesor Titular de la División de Estudios Superiores
de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de México.

Colaborador:
OSCAR WECKMANN MUÑOZ

Revisión:
DR. FRANCISCO MEDINA NICOLAU
Investigador del Instituto de Física de la
Universidad Nacional Autónoma de México
Asesor Técnico de la Comisión Nacional
de Energía Nuclear.

Derechos reservados en lengua española
© 1970, EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S. A.
Arcos de Belem núm. 75, México 1, D. F.
Miembro de la Cámara Nacional de la
Industria Editorial, Registro núm. 121.

Primera edición: 1970

Impreso en México
[265]

SE ACABO DE IMPRIMIR ESTE LIBRO EL DIA 4 DE DICIEMBRE DE 1969, EN LOS TALLERES DE UNION GRAFICA, S. A., *AV. DIVISION DEL NORTE, 1521, MEXICO 13, D. F. LA EDICION CONSTA DE 3 000 EJEMPLARES MAS SOBRANTES PARA REPOSICION.*

OBRAS AFINES

FISICOQUIMICA

Eggers, Gregory,
Halsey y Rabinovitch

FUNDAMENTOS DE FISICOQUIMICA
Maron y Prutton

FISICA FUNDAMENTAL
Orear, Jay

EXPERIMENTOS DE FISICOQUIMICA
Urquiza

EJEMPLAR Nº 1447

He aquí el segundo volumen del primer texto completo de física programada para estudiantes de primer año de profesional o del último año de preparatoria. La preparación de este programa duró cuatro años, y sus autores lo desarrollaron cuidadosamente, a través de un proceso de constantes revisiones, basados en la información obtenida de los estudiantes que lo han probado en clase con excelentes resultados.

Este texto capacitará al estudiante para dominar las materias básicas de la física, guiándolo al ritmo más adecuado mediante incrementos de información ordenados correctamente. Lo induce a participar activamente en las experiencias del aprendizaje, contestando preguntas, resolviendo problemas, y verificando inmediatamente sus respuestas.

El presente volumen es el segundo de un programa dividido en cinco volúmenes, que incluye Mecánica (volumen I), Optica y Ondas (volumen III), Teoría Cinética y Termodinámica (volumen IV) y Tópicos de Física Moderna (volumen V).

Serie Limusa Wiley de
LIBROS PROGRAMADOS